

TUGAS AKHIR - MN141581

**ANALISIS TEKNIS KEKUATAN BAMBU LAMINASI
PADA TUMPAHAN BAHAN BAKAR DAN MINYAK
PELUMAS KAPAL IKAN DENGAN VARIASI SUHU
DAN WAKTU**

DEWA PUTU WIWEKA NARAYASA
NRP. 4110 100 011

Dosen Pembimbing
Ir. Heri Supomo, M.Sc.

Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2015

FINAL PROJECT - MN141581

**TECHNICAL ANALYSIS OF LAMINATED BAMBOO
STRENGTH ON FISHING SHIP FUEL AND
LUBRICANT OIL SPILLS WITH VARIATION OF
TEMPERATURE AND TIME**

DEWA PUTU WIWEKA NARAYASA
NRP. 4110 100 011

Supervisor
Ir. Heri Supomo, M.Sc.

Department of Naval Architecture and Shipbuilding Engineering
Faculty of Marine Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2015

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS TEKNIS KEKUATAN BAMBU LAMINASI PADA TUMPAHAN BAHAN BAKAR DAN MINYAK PELUMAS KAPAL IKAN DENGAN VARIASI SUHU DAN WAKTU

TUGAS AKHIR

Disusun Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Keahlian Industri Perkapalan
Program S-1 Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

DEWA PUTU WIWEKA NARAYASA
NRP. 4110 100 011

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:


Ir. Heri Supomo, M.Sc.
NIP. 19640416 198903 1 003

SURABAYA, JANUARI 2015

ANALISIS TEKNIS KEKUATAN BAMBU LAMINASI PADA TUMPAHAN BAHAN BAKAR DAN MINYAK PELUMAS KAPAL IKAN DENGAN VARIASI SUHU DAN WAKTU

Nama Mahasiswa : Dewa Putu Wiweka Narayasa
NRP : 4110 100 011
Jurusan / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : Ir. Heri Supomo, M.Sc.

ABSTRAK

*Dewasa ini, ketersediaan kayu di Indonesia sebagai bahan baku pembuatan kapal ikan sulit diperoleh. Masalah keterbatasan kayu dapat diatasi dengan penggunaan bambu laminasi sebagai material konstruksi kapal ikan. Kondisi kamar mesin kapal ikan yang rentan terjadi tumpahan bahan bakar dan minyak pelumas berdampak pada sifat mekanis bambu laminasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tumpahan bahan bakar dan minyak pelumas terhadap sifat mekanis bambu laminasi. Uji tarik uji dan tekuk dilakukan pada spesimen bambu laminasi berdasarkan standar ASTM D3500 dan ASTM D3043. Spesimen direndam bahan bakar (biosolar) dan minyak pelumas (SAE 40). Perendaman dengan bahan bakar dilakukan pada suhu ruang, sedangkan perendaman dengan minyak pelumas dilakukan pada variasi suhu 30 °C, 50 °C, dan 100 °C. Perendaman dengan bahan bakar dan minyak pelumas dilakukan selama 12 jam, 24 jam, dan 48 jam. Berdasarkan hasil pengujian, sifat mekanis spesimen bambu laminasi yang direndam bahan bakar menurun seiring dengan lamanya perendaman, dimana didapatkan kuat tarik variasi 12 jam sebesar **121,070 MPa**, variasi 24 jam sebesar **105,802 MPa**, dan variasi 48 jam sebesar **97,909 MPa**, berikut kuat tekuknya secara berurutan sebesar **98,470 MPa; 82,033 MPa; dan 75,093 MPa**. Berbeda dengan bahan bakar, sifat mekanis spesimen bambu laminasi yang direndam minyak pelumas meningkat seiring dengan tingginya suhu dan lamanya perendaman, dimana didapatkan kuat tarik variasi suhu 30 °C selama 12 jam sebesar **106,485 MPa**, selama 24 jam sebesar **111,467 MPa**, dan selama 48 jam sebesar **120,952 MPa**, berikut kuat tekuknya secara berurutan sebesar **82,682 MPa; 88,948 MPa; dan 102,298 MPa**. Kuat tarik dan kuat tekuk terendah dari seluruh hasil pengujian adalah sebesar **97,909 MPa** dan **75,093 MPa**. Berdasarkan regulasi BKI tahun 2013 tentang Kapal Kecil ≤ 24 meter, bambu laminasi masih layak digunakan sebagai material konstruksi kapal ikan, khususnya di daerah kamar mesin yang rentan terkena tumpahan bahan bakar dan minyak pelumas.*

Kata kunci: Bahan bakar, bambu laminasi, kapal ikan, minyak pelumas, sifat mekanis

TECHNICAL ANALYSIS OF LAMINATED BAMBOO STRENGTH ON FISHING SHIP FUEL AND LUBRICANT OIL SPILLS WITH VARIATION OF TEMPERATURE AND TIME

Author : Dewa Putu Wiweka Narayasa
ID No. : 4110 100 011
Dept. / Faculty : Naval Architecture & Shipbuilding Engineering / Marine Technology
Supervisor : Ir. Heri Supomo, M.Sc.

ABSTRACT

*Nowadays, the availability of wood in Indonesia as a raw material for fishing ship manufacture is difficult to obtain. Wood availability problems can be overcome with the use of laminated bamboo as a material for fishing ship construction. The condition of fishing ship engine room which is susceptible to fuel and lubricant oil spills affects the mechanical properties of laminated bamboo. This research aims to know the effect of fuel and lubricant oil spills against mechanical properties of laminated bamboo. Tensile test and flexure test performed on laminated bamboo specimens based on ASTM D3500 and ASTM D3043 standards. Specimens soaked in fuel (biosolar) and lubricant oil (SAE 40). Fuel soaking is carried out at room temperature, while lubricant oil soaking is carried out within variations of temperature of 30 °C, 50 °C, and 100 °C. Fuel and lubricant oil soaking are carried out during 12 hours, 24 hours, and 48 hours. Based on the test results, mechanical properties of laminated bamboo specimens soaked in fuel decreased along with the soaking duration, where obtained tensile strength of variation of 12 hours is **121.070 MPa**, variation of 24 hours is **105.802 MPa**, and variation of 48 hours is **97.909 MPa**, following their flexure strength in consecutive are **98.470 MPa**, **82.033 MPa**, and **75.093 MPa**. In contrast to fuel, mechanical properties of laminated bamboo specimens soaked in lubricant oil increased along with the increment of soaking temperature and duration, where obtained tensile strength of variation of 30 °C during 12 hours is **106.485 MPa**, during 24 hours is **111.467 MPa**, during 48 hours is **120.952 MPa**, following their flexure strength in consecutive are **82.682 MPa**, **88.948 MPa**, and **102.298 MPa**. The lowest tensile strength and flexure strength from the entire test results are **97.909 MPa** and **75.093 MPa**. Based on BKI 2013 edition regarding Small Vessels up to 24 meters regulation, laminated bamboo is still comply used as a material for fishing ships construction, especially in the area of engine room which is susceptible to fuel and lubricant oil spills.*

Keyword: Fuel, laminated bamboo, fishing ship, lubricant oil, mechanical properties

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis haturkan kepada Ida Sang Hyang Widhi Wasa atas asung kerta wara nugraha-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan judul "Analisis Teknis Kekuatan Bambu Laminasi pada Tumpahan Bahan Bakar dan Minyak Pelumas Kapal Ikan dengan Variasi Suhu dan Waktu" yang merupakan salah satu syarat kelulusan pada Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik tentunya tidak lepas dari dukungan banyak pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Heri Supomo, M.Sc. selaku dosen pembimbing, atas ilmu dan kesabarannya dalam mengarahkan dan memberi nasehat kepada penulis selama penyelesaian Tugas Akhir ini.
2. Bapak Ir. Triwilaswandio Wuruk Pribadi, M.Sc. selaku koordinator bidang studi Industri Perkapalan, terima kasih atas bimbingan dan arahan yang telah diberikan selama ini.
3. Bapak Imam Baihaqi, S.T., M.T. dan Bapak Sholikhon Arif, S.T., M.T. atas waktu dan kesabarannya dalam membimbing penulis selama penyelesaian Tugas Akhir ini
4. Bapak Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama M.Sc, Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan FTK ITS.
5. Kedua orang tua yang tiada henti-hentinya mendoakan penulis dan memberikan dukungan baik moril maupun materiil.
6. Bapak Supardi dan Mas Joko Iswanto yang telah membantu penulis dalam persiapan spesimen uji di Laboratorium Teknologi Produksi dan Manajemen Perkapalan.
7. Bapak Fairil, Mas Agil, dan Bapak Didik yang telah membantu penulis dalam pelaksanaan pengujian di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan.
8. Asmi puki, Mas Tito kris jon, Bagus bokeb, Benny, Asyrof cino, serta teman-teman seperjuangan Arek LabProd yang senantiasa menemani dan saling memberikan dukungan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
9. Teman-teman angkatan 2010 (CAPTAIN-P50) yang telah menemani dan memberikan dukungan sejak menjadi mahasiswa baru sampai penulis lulus.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan baik dari segi pembahasan maupun penyusunan didalamnya. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak demi perkembangan positif dimasa yang akan datang.

Besar harapan penulis bahwa laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan informasi dan manfaat yang seluas-luasnya bagi pembaca pada khususnya dan mahasiswa Teknik Perkapalan pada umumnya.

Surabaya, Januari 2015

Dewa Putu Wiweka N.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR REVISI	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG MASALAH	1
1.2 RUMUSAN MASALAH	2
1.3 TUJUAN	2
1.4 BATASAN MASALAH	3
1.5 MANFAAT	3
1.6 HIPOTESIS	3
1.7 SISTEMATIKA PENULISAN LAPORAN	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 GAMBARAN UMUM BAMBU	5
2.1.1 Sifat Fisis Bambu Ori (<i>Bambusa arundinacea</i>)	6
2.1.2 Sifat Mekanis Bambu Ori (<i>Bambusa arundinacea</i>)	8
2.1.3 Potensi Bambu Sebagai Material Konstruksi di Indonesia	9
2.2 PENGAWETAN BAMBU	11
2.2.1 Boraks sebagai Larutan Pengawet pada Bambu	12
2.2.2 Prosedur Pengawetan Menggunakan Boraks	13
2.2.3 Sifat Mekanis Bambu yang Diawetkan dengan Boraks	13
2.3 TEKNOLOGI BAMBU LAMINASI	14
2.3.1 Susunan Laminasi	15
2.3.2 Perekatan Laminasi	15
2.3.3 Keunggulan Bambu Laminasi	17
2.3.4 Standar Uji Tarik dan Tekuk Bambu Laminasi	17
2.4 BAMBU LAMINASI SEBAGAI MATERIAL KOMPOSIT	20
2.4.1 Karakteristik Material Komposit	20
2.4.2 Perilaku Viskoelastis pada Polimer	21
2.5 GAMBARAN UMUM KAPAL IKAN	22
2.5.1 Konstruksi dan Ruang pada Kapal Ikan	23
2.5.2 Mesin Penggerak Kapal Ikan	24

2.5.3 Kondisi Lingkungan di Daerah Kamar Mesin Kapal Ikan	25
2.6 STANDARISASI BAMBU DALAM BIDANG KONSTRUKSI	28
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	31
3.1 PERSIAPAN BAMBU	31
3.1.1 Pemilihan Bambu	31
3.1.2 Pengawetan	32
3.1.3 Pembuatan Bilah	34
3.2 PEMBUATAN SPESIMEN UJI	35
3.3 PERLAKUAN SPESIMEN UJI	39
3.4.1 Perendaman dengan Bahan Bakar	39
3.4.2 Perendaman dengan Minyak Pelumas	40
3.4 LANGKAH PENGUJIAN	41
3.4.1 Tahapan Pengujian Tarik	41
3.4.2 Tahapan Pengujian Tekuk	42
3.5 TAHAP PENGOLAHAN DATA DAN ANALISIS HASIL PENGUJIAN	43
3.6 DIAGRAM ALIR PENELITIAN	44
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	47
4.1 PENGUJIAN TARIK	47
4.1.1 Perendaman dengan Biosolar pada Suhu 30 °C	47
4.1.2 Perendaman dengan SAE 40 pada Suhu 30 °C, 50 °C, dan 100 °C	48
4.2 PENGUJIAN TEKUK	49
4.2.1 Perendaman dengan Biosolar pada Suhu Ruang (30 °C)	50
4.2.2 Perendaman dengan SAE 40 pada Suhu 30 °C, 50 °C, dan 100 °C	50
4.3 ANALISIS HASIL PENGUJIAN	52
4.3.1 Kekuatan Tarik	52
4.3.2 Kekuatan Tekuk	55
4.4 TEGANGAN IZIN BAMBU LAMINASI	60
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	61
5.1 KESIMPULAN	61
5.2 SARAN	61
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN 1 Hasil Uji Tarik Variasi Bahan Bakar pada Suhu Ruang (12 jam)	
LAMPIRAN 2 Hasil Uji Tarik Variasi Bahan Bakar pada Suhu Ruang (24 jam)	
LAMPIRAN 3 Hasil Uji Tarik Variasi Bahan Bakar pada Suhu Ruang (48 jam)	
LAMPIRAN 4 Hasil Uji Tarik Variasi Minyak Pelumas pada Suhu Ruang (12 jam)	
LAMPIRAN 5 Hasil Uji Tarik Variasi Minyak Pelumas pada Suhu Ruang (24 jam)	
LAMPIRAN 6 Hasil Uji Tarik Variasi Minyak Pelumas pada Suhu Ruang (48 jam)	
LAMPIRAN 7 Hasil Uji Tarik Variasi Minyak Pelumas pada Suhu 50 °C (12 jam)	
LAMPIRAN 8 Hasil Uji Tarik Variasi Minyak Pelumas pada Suhu 50 °C (24 jam)	
LAMPIRAN 9 Hasil Uji Tarik Variasi Minyak Pelumas pada Suhu 50 °C (48 jam)	
LAMPIRAN 10 Hasil Uji Tarik Variasi Minyak Pelumas pada Suhu 100 °C (12 jam)	
LAMPIRAN 11 Hasil Uji Tarik Variasi Minyak Pelumas pada Suhu 100 °C (24 jam)	
LAMPIRAN 12 Hasil Uji Tarik Variasi Minyak Pelumas pada Suhu 100 °C (48 jam)	

LAMPIRAN 13 Hasil Uji Tekuk Variasi Bahan Bakar pada Suhu Ruang (12 jam)
LAMPIRAN 14 Hasil Uji Tekuk Variasi Bahan Bakar pada Suhu Ruang (24 jam)
LAMPIRAN 15 Hasil Uji Tekuk Variasi Bahan Bakar pada Suhu Ruang (48 jam)
LAMPIRAN 16 Hasil Uji Tekuk Variasi Minyak Pelumas pada Suhu Ruang (12 jam)
LAMPIRAN 17 Hasil Uji Tekuk Variasi Minyak Pelumas pada Suhu Ruang (24 jam)
LAMPIRAN 18 Hasil Uji Tekuk Variasi Minyak Pelumas pada Suhu Ruang (48 jam)
LAMPIRAN 19 Hasil Uji Tekuk Variasi Minyak Pelumas pada Suhu 50 °C (12 jam)
LAMPIRAN 20 Hasil Uji Tekuk Variasi Minyak Pelumas pada Suhu 50 °C (24 jam)
LAMPIRAN 21 Hasil Uji Tekuk Variasi Minyak Pelumas pada Suhu 50 °C (48 jam)
LAMPIRAN 22 Hasil Uji Tekuk Variasi Minyak Pelumas pada Suhu 100 °C (12 jam)
LAMPIRAN 23 Hasil Uji Tekuk Variasi Minyak Pelumas pada Suhu 100 °C (24 jam)
LAMPIRAN 24 Hasil Uji Tekuk Variasi Minyak Pelumas pada Suhu 100 °C (48 jam)
LAMPIRAN 25 Rekapitulasi Hasil Uji Tarik
LAMPIRAN 26 Rekapitulasi Hasil Uji Tekuk
LAMPIRAN 27 Standar ASTM D3500
LAMPIRAN 28 Standar ASTM D3043

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta Sebaran Bambu di Indonesia	5
Gambar 2.2 Perbandingan Bambu <i>Simpodial</i> (a) dan <i>Monopodial</i> (b)	6
Gambar 2.3 <i>Moisture Meter</i> Dapat Dikalibrasi Sesuai Jenis Kayu yang akan Diukur.....	7
Gambar 2.4 Sumbu pada Potongan Melintang Material Orthoropik	8
Gambar 2.5 Eksterior Rumah Panggung Berbahan Bambu di Indonesia	10
Gambar 2.6 Jembatan Tradisional dari Anyaman Bilah Bambu	11
Gambar 2.7 Potongan Melintang Batang Bambu yang Diproses Menjadi Bilah	14
Gambar 2.8 Potongan Melintang Susunan Papan Laminasi dengan Metode Tumpuk Bata	15
Gambar 2.9 Dimensi Spesimen Uji Tarik ASTM D3500 (satuan dalam milimeter)	18
Gambar 2.10 Dimensi Spesimen Uji Tekuk ASTM D3043 (satuan dalam milimeter)	19
Gambar 2.11 Grafik Nilai Pemuluran (ϵ) terhadap Waktu (t)	21
Gambar 2.12 Grafik <i>Stress-strain</i> Tiap Wujud Viskoelastis.....	22
Gambar 2.13 Kapal Ikan di Lampung dengan Mesin <i>Diesel</i>	23
Gambar 2.14 Unit Mesin Truk <i>Diesel</i> yang Digunakan pada Kapal Ikan	24
Gambar 2.15 Aplikasi <i>Muffler</i> (Panah Kuning) dengan Isolator Panas di Sekelilingnya....	27
Gambar 2.16 Tangki Bahan Bakar (Panah Kuning) yang Ditempatkan di Atas Geladak ...	27
Gambar 2.17 Alas Kamar Mesin dan Sekitarnya Rentan Terkena Tumpahan	28
Gambar 3.1 Rumpun Bambu Ori Siap Panen.....	31
Gambar 3.2 Kulit Terluar Bambu Disayat sebelum Dilakukan Pemeriksaan Kadar Air	32
Gambar 3.3 Batang Bambu yang Telah Dipecah Menjadi Bilah Sepanjang 3 meter.....	32
Gambar 3.4 Pelarutan Boraks (a) dan Perendaman Bilah (b) dalam Larutan Pengawet	33
Gambar 3.5 Bilah Diposisikan Berdiri selama Pengeringan.....	33
Gambar 3.6 Potongan Bilah Sepanjang 50 dan 70 cm.....	34
Gambar 3.7 Pemerataan Menggunakan <i>Handplanar</i> (a) dan Hasil yang Seragam (b)	35
Gambar 3.8 Bilah Satu per satu Dikuliti (a) dan Diamplas (b)	35
Gambar 3.9 Pemeriksaan Kadar Air Tiap Bilah dengan <i>Moisture Meter</i>	36
Gambar 3.10 Penyusunan dan Penomoran Tiap Bilah	36
Gambar 3.11 Pemeriksaan Tebal Susunan Papan Laminasi dengan Jangka Sorong	37
Gambar 3.12 Pengukuran Berat Perekat (a) dan Pengadukan Perekat (b).....	37
Gambar 3.13 Aplikasi Perekat (a) dan Penyusunan Sesuai Nomor dan Lapisan Bilah (b) .	38
Gambar 3.14 Lapisan Terakhir Ditutupi Kertas (a) dan Peletakkan Penumpu (b).....	38
Gambar 3.15 Papan Laminasi Siap Dibentuk Menjadi Spesimen Uji	39
Gambar 3.16 Perendaman Spesimen Uji dengan Bahan Bakar	40
Gambar 3.17 Pemanasan Minyak Pelumas dengan <i>Oven</i> Elektrode.....	40
Gambar 3.18 Pemasangan Klem pada Spesimen Uji Tarik	41
Gambar 3.19 Pengujian Tarik.....	42
Gambar 3.20 Spesimen Uji Tekuk Pasca Perlakuan.....	42
Gambar 3.21 Pengujian Tekuk	43
Gambar 3.22 Diagram Alir Penelitian	45
Gambar 4.1 Grafik Perbandingan Kuat Tarik terhadap Variasi Waktu	53
Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Modulus Elastisitas Tarik terhadap Variasi Waktu	54
Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Regangan terhadap Variasi Waktu	55
Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Kuat Tekuk terhadap Variasi Waktu	56
Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Modulus Elastisitas Tekuk terhadap Variasi Waktu.....	57
Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Defleksi terhadap Variasi Waktu.....	58

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Kuat Tarik Bambu Ori dengan Pengawet Boraks	14
Tabel 2.2 Perbandingan Kuat Tekuk Bambu Ori dengan Pengawet Boraks	14
Tabel 2.3 Perbandingan Karakteristik Solar dengan Biosolar	25
Tabel 2.4 Perbandingan Jenis Minyak Pelumas untuk Kapal	25
Tabel 2.5 Kuat Tekuk Bambu Ori Pasca Pemanasan dengan <i>Holding Time</i> 1 jam.....	26
Tabel 2.6 Tegangan Izin Bambu Sebagai Material Konstruksi.....	28
Tabel 2.7 Kuat Tekuk Minimum Material Kayu Berdasarkan Kategori Kelas Kuat	29
Tabel 4.1 Nilai Rata-rata Hasil Uji Tarik Pasca Perendaman dengan Biosolar (Variasi Waktu).....	47
Tabel 4.2 Nilai Rata-rata Hasil Uji Tarik Pasca Perendaman dengan SAE 40 (Variasi Suhu & Waktu).....	49
Tabel 4.3 Nilai Rata-rata Hasil Uji Tekuk Pasca Perendaman dengan Biosolar (Variasi Waktu).....	50
Tabel 4.4 Nilai Rata-rata Hasil Uji Tekuk Pasca Perendaman dengan SAE 40 (Variasi Suhu & Waktu).....	52

BIODATA PENULIS



Dilahirkan di Mataram pada tanggal 22 Desember 1992, Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar mulai TK sampai dengan SD di instansi yang sama, yaitu TK Kristen Aletheia dan SD Kristen Aletheia. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan formal tingkat menengah mulai SMP sampai dengan SMA di kota yang sama, yaitu SMP Negeri 2 Mataram dan SMA Negeri 1 Mataram. Setelah lulus SMA, Penulis melanjutkan pendidikan perguruan tinggi di Jurusan Teknik Perkapalan ITS melalui jalur penerimaan PMDK pada tahun 2010. Di Jurusan Teknik Perkapalan Penulis mengambil bidang studi Industri Perkapalan. Penulis tercatat pernah menjadi Asisten Laboratorium Teknologi Produksi dan Manajemen Perkapalan selama tahun ajaran 2013/2014. Selama masa perkuliahan Penulis juga aktif dalam kegiatan kemahasiswaan yang diemban oleh HIMATEKPAL dan Tim Pembina Kerohanian Hindu. Penulis berstatus anggota aktif HIMATEKPAL dan pernah terlibat sebagai *steering committee* kaderisasi selama masa kepengurusan 2012/2013, sedangkan di Tim Pembina Kerohanian Hindu Penulis pernah menduduki jabatan Kepala Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa selama masa kepengurusan 2012/2013. Di luar kegiatan internal kampus dan kemahasiswaan, Penulis gemar bermain futsal diwaktu senggang dan *travelling* saat menjalani liburan akademik.

Email: dewawiweka@gmail.com

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG MASALAH

Dewasa ini, ketersediaan kayu di Indonesia sebagai bahan baku pembuatan kapal ikan kini semakin sulit diperoleh. Berdasarkan catatan Kementerian Kehutanan Republik Indonesia tahun 2009, sedikitnya 1,1 juta hektar atau 2% dari hutan Indonesia menyusut tiap tahunnya. Data Kementerian Kehutanan menyebutkan dari sekitar 130 juta hektar yang tersisa di Indonesia, 42 juta hektar diantaranya sudah habis ditebang (WWF, 2010). Faktanya, jenis kayu yang termasuk material untuk pembangunan kapal ikan seperti jati, meranti, dan merbau merupakan golongan kayu yang berusia tanam diatas 20 tahun (Agro Indonesia, 2012). Mengacu pada data statistik Kementerian Perikanan dan Kelautan Republik Indonesia dalam kurun waktu 2004-2012, volume produksi perikanan laut mengalami kenaikan signifikan sebesar 1 juta ton (KKP, 2013). Dapat diasumsikan bahwa, kebutuhan terhadap kapal ikan turut serta mengalami peningkatan setiap tahunnya. Dua hal yang bertolak belakang yakni, permintaan kapal ikan yang semakin tinggi tidak selaras dengan ketersediaan bahan baku pembuatan kapal ikan tersebut.

Kapal ikan berbahan kayu tergolong kapal non baja dan dibedakan berdasarkan metode pembangunannya menjadi dua jenis, teknologi kayu konvensional dan teknologi papan kayu laminasi (Tarkono, 2006). Penggunaan teknologi laminasi sebagai material alternatif merupakan jawaban dari semakin berkurangnya persediaan bahan baku kayu dan keinginan untuk mendapatkan material yang memiliki karakteristik mekanis yang lebih baik (Suprijanto & Kusmawan, 2009).

Bambu merupakan salah satu jenis tanaman rerumputan yang memiliki daya regenerasi sangat cepat dan usia tanam yang lebih singkat dibandingkan jenis kayu lain (Krisdianto & Sumarni, 2014). Di beberapa negara, bambu telah dikembangkan sebagai material alternatif untuk konstruksi bangunan (Xiao et al, 2007). Pemanfaatan dan budidaya bambu di Indonesia sudah sangat populer sejak dahulu, berbagai produk rumah tangga dan material alternatif terus dikembangkan, khususnya masalah terkini di bidang maritim yang digunakan sebagai material alternatif pembuatan kapal ikan (Manuputty & Berhita, 2010).

Pada kapal ikan, sudah tentu menjadi suatu kewajiban dilakukannya pengisian bahan bakar dan penggantian minyak pelumas secara berkala, dimana aktivitas tersebut berisiko menimbulkan tumpahan yang secara langsung mengenai material konstruksi di daerah kamar mesin, dalam kasus ini materialnya adalah bambu laminasi. Fakta yang ditemukan di lapangan, tumpahan bahan bakar dan minyak pelumas dapat sewaktu-waktu dibiarkan dalam waktu yang cukup lama. Di sisi lain, suhu minyak pelumas yang tumpah selalu berubah-ubah akibat pengaruh kondisi operasional mesin dan lingkungan yang bervariasi. Kondisi demikian tentu mempengaruhi kekuatan mekanis suatu material, terlebih bambu laminasi merupakan bahan organik yang memiliki kemampuan higroskopis (Handayani, 2007). Oleh karena itu, perlu penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh tumpahan bahan bakar dan khususnya minyak pelumas yang bersuhu tinggi terhadap kekuatan mekanis bambu laminasi. Apakah kekuatan mekanis bambu laminasi yang terkena tumpahan bahan bakar dan minyak pelumas masih memenuhi regulasi BKI tahun 2013 tentang Kapal Kecil ≤ 24 meter sebagai material konstruksi kapal ikan di daerah kamar mesin.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan uraian latar belakang masalah pada subbab sebelumnya, pokok permasalahan yang terdapat dalam Tugas Akhir ini meliputi:

1. Bagaimanakah kuat tarik dan tekuk bambu laminasi yang terkena tumpahan bahan bakar dengan variasi waktu?
2. Bagaimanakah kuat tarik dan tekuk bambu laminasi yang terkena tumpahan minyak pelumas dengan variasi suhu dan waktu?
3. Apakah bambu laminasi yang terkena tumpahan bahan bakar dan minyak pelumas masih layak digunakan sebagai konstruksi kapal ikan di daerah kamar mesin?

1.3 TUJUAN

Suatu penelitian selayaknya memiliki maksud dan tujuan tertentu. Adapun tujuan yang ingin dicapai dari Tugas Akhir ini adalah:

1. Mengidentifikasi kuat tarik dan tekuk bambu laminasi yang terkena tumpahan bahan bakar dengan variasi waktu.
2. Mengidentifikasi kuat tarik dan tekuk bambu laminasi yang terkena tumpahan minyak pelumas dengan variasi suhu dan waktu.

3. Menentukan kelayakan bambu laminasi yang terkena tumpahan bahan bakar dan minyak pelumas sebagai material konstruksi kapal ikan di daerah kamar mesin.

1.4 BATASAN MASALAH

Pada Tugas Akhir ini diperlukan batasan-batasan guna efektivitas perhitungan dan proses penyusunan laporan. Batasan-batasan tersebut antara lain:

1. Jenis bambu yang digunakan adalah Ori (*Bambusa arundinacea*).
2. Jenis perekat yang digunakan adalah *resin epoxy polyamide*.
3. Jenis bahan bakar yang digunakan adalah biosolar.
4. Jenis minyak pelumas yang digunakan adalah SAE 40.
5. Variasi suhu minyak pelumas adalah 30, 50, dan 100 °C.
6. Variasi waktu perendaman dengan bahan bakar dan minyak pelumas adalah 12, 24, dan 48 jam.

1.5 MANFAAT

Hasil dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat yang konkrit, khususnya kepada pihak-pihak yang terkait, antara lain:

1. Bagi akademisi, hasil penelitian ini merupakan wawasan baru mengenai bambu laminasi yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku alternatif dalam pembuatan kapal ikan, khususnya di daerah kamar mesin.
2. Bagi praktisi, hasil penelitian ini dapat dijadikan acuan atau rekomendasi bagi para *owner* dan galangan kapal dalam pembuatan kapal ikan, khususnya di daerah kamar mesin yang rentan terjadi tumpahan bahan bakar dan minyak pelumas.

1.6 HIPOTESIS

Kekuatan mekanis bambu laminasi berbanding lurus terhadap kenaikan suhu dan waktu perendaman. Pada perendaman dengan bahan bakar, semakin lama waktu perendaman, maka semakin tinggi kekuatan mekanis bambu laminasi, sedangkan pada perendaman dengan minyak pelumas, semakin tinggi suhu dan semakin lama waktu perendaman, maka semakin tinggi kekuatan mekanis bambu laminasi.

1.7 SISTEMATIKA PENULISAN LAPORAN

Laporan Tugas Akhir ini disusun dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisi uraian secara umum dan singkat yang meliputi latar belakang masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan dari Tugas Akhir yang disusun.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi penjelasan tentang berbagai referensi dan teori yang terkait dengan judul penelitian yang meliputi gambaran umum bambu, pengawetan bambu, teknologi bambu laminasi, bambu laminasi sebagai material komposit, gambaran umum kapal ikan, standarisasi bambu dalam bidang konstruksi.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi langkah-langkah selama penelitian, mulai dari tahap persiapan, pembuatan spesimen uji, perlakuan spesimen uji, langkah pengujian, analisis data hasil pengujian, sampai pembahasan dan penarikan kesimpulan.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi pembahasan permasalahan dan studi komparatif dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan, serta rekomendasi dan saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

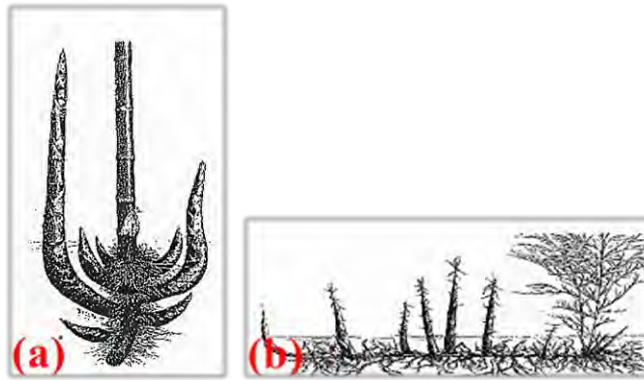
2.1 GAMBARAN UMUM BAMBU

Bambu merupakan tanaman jenis rerumputan dan berakar serabut dengan penampilan batang yang berongga dan beruas. Dari sekitar 1250 spesies bambu di dunia, kurang lebih 200 spesies ditemukan di Asia Tenggara, sedangkan di Indonesia terdapat sekitar 60 spesies (Krisdianto & Sumarni, 2006). Berdasarkan sensus yang dilakukan oleh Departemen Kehutanan Republik Indonesia pada tahun 2003, bambu dapat dijumpai di hampir seluruh wilayah Indonesia. Salah satunya ditunjukkan dengan panah merah pada Gambar 2.1 yang menunjukkan Pulau Jawa dimana ditemukan lebih dari 5 juta rumpun bambu yang merupakan populasi terbanyak di Indonesia.



Gambar 2.1 Peta Sebaran Bambu di Indonesia
(Sumber: <http://dephut.go.id/>, 2003)

Bambu dikenal sebagai tanaman yang mempunyai masa pertumbuhan paling cepat dibandingkan dengan kayu. Dalam satu hari, pertumbuhan bambu dapat mencapai 30-100 centimeter dan tingginya dapat mencapai 40 meter. Rata-rata pertumbuhan bambu untuk mencapai usia dewasa dibutuhkan waktu 4-5 tahun (Widnyana, 2007). Berdasarkan pertumbuhannya, bambu dibedakan dalam dua kelompok dengan perbedaan fisik yang dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Perbandingan Bambu *Simpodial* (a) dan *Monopodial* (b)
(Sumber: Dunkelberg, 1992)

Bambu *simpodial* tumbuh dalam bentuk rumpun. Setiap akar menghasilkan satu batang bambu, dimana bambu muda tumbuh mengelilingi bambu yang lebih tua. Bambu *simpodial* tumbuh di daerah tropis dan subtropis, sehingga bambu di Indonesia tergolong kelompok simpodial, sedangkan bambu *monopodial* tumbuh dengan akar yang menerobos ke berbagai arah di bawah tanah dan muncul ke permukaan tanah sebagai bambu yang individual. Bambu *monopodial* tumbuh di daerah subtropis hingga daerah beriklim sedang.

Bambu merupakan tanaman yang serba guna, mulai dari akar sampai daunnya dapat dimanfaatkan. Tunas mudanya (rebung) dapat dijadikan bahan makanan dan telah dimanfaatkan menjadi makanan kaleng, sedangkan daunnya dapat dijadikan sebagai pembungkus makanan. Akarnya yang kuat dapat dijadikan sebagai bahan kerajinan dan bahan pertanian. Selain itu, tanaman bambu dapat dijadikan sebagai tanaman konservasi karena mempunyai daya dukung terhadap lingkungan yang tinggi.

2.1.1 Sifat Fisis Bambu Ori (*Bambusa arundinacea*)

Sebagai bahan alami, bambu mempunyai bermacam-macam sifat yang tergantung dari jenis, habitat, dan lingkungan pertumbuhan. Spesies yang berbeda memiliki sifat yang berlainan, namun dalam satu spesies yang sama dengan lokasi pertumbuhan yang berbeda juga mampu menghasilkan sifat yang berlainan. Faktor-faktor itulah yang mempengaruhi sifat fisis bambu secara umum.

Sifat fisis adalah sifat yang berhubungan dengan faktor-faktor internal yang bekerja pada suatu benda. Secara anatomi dan kimiawi, bambu dan kayu memiliki kesamaan, oleh karena itu faktor-faktor yang berpengaruh pada kayu juga akan berpengaruh pada sifat-sifat bambu. Sifat-sifat tersebut antara lain kandungan air dan berat jenis.

a. Kadar air (*moisture content*)

Kadar air dinyatakan sebagai kandungan air yang berada dalam bambu. Namun, bambu selalu berusaha mencapai keseimbangan yang disebut EMC (*Equilibrium Moisture Content*). Kadar air dihitung sebagai persentase perbandingan berat air dalam bambu dengan berat kering bambu. Nilai kadar air berbanding terbalik terhadap semua nilai sifat-sifat kekuatan bambu.

Bambu termasuk zat higroskopis, artinya bambu mampu menyerap air yang ada di lingkungannya, baik dalam bentuk uap maupun cairan. Bambu mempunyai kemampuan mengabsorpsi atau desorpsi yang tergantung dari suhu dan kelembaban udara disekitarnya. Kandungan air dalam batang bambu bervariasi baik arah memanjang maupun arah melintang. Hal itu tergantung dari umur, waktu penebangan, dan jenis bambu. Pada umur satu tahun, batang bambu mempunyai kandungan air yang relatif tinggi, yaitu kurang lebih 120 hingga 130%, baik pada pangkal maupun ujungnya. Secara keseluruhan, bagian pangkal batang bambu memiliki kadar air tertinggi dibandingkan bagian lainnya (Handayani, 2007).

Pengukuran kadar air dapat dilakukan langsung dengan bantuan alat yang disebut *moisture meter* (Gambar 2.3). Alat ini dirancang khusus untuk mengetahui kadar air segala jenis kayu, termasuk bambu.



Gambar 2.3 *Moisture Meter* Dapat Dikalibrasi Sesuai Jenis Kayu yang akan Diukur
(Sumber: <http://www.nachi.org/>, 2014)

b. Berat jenis (*specific gravity*)

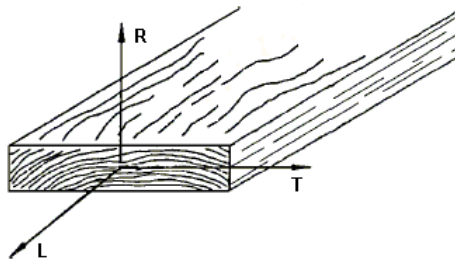
Salah satu faktor yang juga berpengaruh terhadap kekuatan bambu adalah berat jenis bambu. Berat jenis bambu dihitung sebagai nilai perbandingan berat bambu terhadap volume bambu tersebut.

Berat jenis dan kerapatan merupakan faktor-faktor yang menentukan sifat-sifat fisis dan mekanis suatu bambu. Berat jenis bambu berkisar antara 0,5 sampai 0,9 gr per centimeter

kubik. Variasi berat jenis bambu terjadi baik pada arah vertikal maupun horizontal. Batang bambu bagian luar mempunyai berat jenis lebih tinggi daripada bagian dalam. Sedangkan dalam arah memanjang, berat jenis meningkat dari pangkal ke ujung. Berat jenis berbanding terbalik terhadap kadar air. Semakin tinggi berat jenis bambu, semakin kecil kadar airnya, sehingga sifat-sifat kekuatan bambu juga semakin tinggi (Handayani, 2007).

2.1.2 Sifat Mekanis Bambu Ori (*Bambusa arundinacea*)

Secara umum, bambu merupakan material orthotropik. Material orthotropik adalah material yang mempunyai tiga bidang simetri yang saling tegak lurus dan mempunyai sifat yang berbeda di sepanjang masing-masing sumbu (Okhio & Waning, 2011). Ketiga sumbu tersebut dijelaskan pada Gambar 2.4, dimana sumbu longitudinal (L) paralel terhadap serat batang, sumbu radial (R) tegak lurus terhadap serat batang, dan sumbu T searah terhadap cincin pertumbuhan batang.



Gambar 2.4 Sumbu pada Potongan Melintang Material Orthotropik
(Sumber: Okhio & Waning, 2011)

Analisis sifat mekanis merupakan penelitian yang ditujukan untuk mengetahui perilaku dan karakteristik suatu material pada berbagai kondisi pembebanan. Informasi mengenai deformasi, kondisi tegangan, dan kegagalan dari jenis bambu yang berbeda pada beragam kondisi adalah persyaratan penting dalam penggunaan bambu yang efektif di bidang konstruksi. Sifat mekanis yang utama pada bambu meliputi kuat tarik dan kuat tekuk.

a. Kuat tarik (*tensile strength*)

Kuat tarik merupakan suatu ukuran kekuatan bambu dalam hal kemampuannya menahan beban tarik yang cenderung mengakibatkan bambu itu terlepas satu sama lain. Kuat tarik dibedakan menjadi dua macam: tegak lurus serat dan sejajar serat. Kuat tarik tegak

lurus serat mempunyai hubungan dengan ketahanan bambu terhadap pembelahan, sedangkan kuat tarik sejajar serat merupakan yang terbesar pada bambu (Handayani, 2007).

Kuat tarik bambu akan menurun seiring dengan meningkatnya kadar air, dimana kuat tarik bagian luar bambu adalah yang terbesar dibandingkan dengan bagian lainnya (Handayani, 2007). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Morisco pada tahun 1994-1999, dilaporkan bahwa kuat tarik kulit bambu Ori bernilai cukup tinggi, yaitu sekitar dua kali tegangan luluh baja (Budi, 2007).

b. Kuat tekuk (*flexure strength*)

Kuat tekuk merupakan ukuran kekuatan bambu dalam hal kemampuannya menahan beban lentur tegak lurus terhadap serat bambu yang ditumpu pada kedua ujungnya. Kuat tekuk dibedakan menjadi dua macam: kuat tekuk statik dan kuat tekuk pukul. Kuat tekuk statik menunjukkan kekuatan bambu dalam menahan beban yang mengenainya secara perlahan-lahan, sedangkan kuat tekuk pukul adalah kekuatan bambu dalam menahan beban yang mengenainya secara mendadak (Handayani, 2007).

Balok bambu yang terletak pada dua tumpuan atau lebih, bila menerima beban berlebihan akan melengkung/melentur. Pada bagian sisi atas akan terjadi tegangan tekan, sedangkan pada sisi bawah akan terjadi tegangan tarik yang besar. Akibat tegangan tarik yang melampaui batas kemampuan bambu, maka terjadi deformasi/defleksi yang mengakibatkan kegagalan berupa retakan (*crack*).

2.1.3 Potensi Bambu Sebagai Material Konstruksi di Indonesia

Bambu merupakan salah satu material konstruksi tertua, dimana bangunan dengan bambu sebagai material utama merupakan salah satu simbol dari suatu kebudayaan kuno dimana bambu tersebut banyak ditanam, seperti di Amerika Latin, Afrika, dan Asia, terutama Asia Tenggara.

Di Indonesia, bambu telah dikenal oleh masyarakat sejak jaman dahulu dan telah digunakan sebagai bahan untuk keperluan sehari-hari mulai dari makanan, peralatan rumah tangga, alat musik, upacara keagamaan, hingga bangunan rumah yang ditempati, sehingga di pedesaan sebagian besar masyarakatnya mempunyai rumpun bambu di pekarangannya. Salah satu contoh pemanfaatan bambu dapat dilihat pada Gambar 2.5 yang digunakan sebagai eksterior rumah panggung di salah satu wilayah di Indonesia.



Gambar 2.5 Eksterior Rumah Panggung Berbahan Bambu di Indonesia
(Sumber: <http://desainrumahunik.info/>, 2014)

Bambu memiliki sifat-sifat yang baik untuk dimanfaatkan, antara lain batangnya kuat, ulet, lurus, rata, keras, mudah dibelah, mudah dibentuk, dan mudah dikerjakan serta ringan. Selain itu bambu juga relatif murah dibandingkan dengan bahan bangunan lain karena potensinya banyak dan mudah ditemukan di seluruh daerah di Indonesia. Beberapa kelebihan bambu yang dimanfaatkan untuk komponen bangunan, antara lain:

- a. Merupakan bahan yang dapat diperbarui (4-5 tahun sudah dapat ditebang).
- b. Harganya murah dan pengerjaannya mudah karena tidak memerlukan tenaga terdidik, cukup dengan peralatan sederhana.
- c. Mempunyai kuat tarik yang tinggi (beberapa jenis bambu melampaui kuat tarik baja mutu sedang), ringan, berbentuk pipa beruas sehingga cukup lentur untuk dimanfaatkan sebagai komponen bangunan rangka.
- d. Rumah berbahan bambu cukup nyaman ditempati.
- e. Masa konstruksi cukup singkat sehingga biaya konstruksi menjadi murah.

Pada era sebelum tahun 1980, bambu digunakan sebagai bahan konstruksi bangunan umum seperti jembatan, tiang, dinding penahan tanah (*bearing wall*), dan bangunan rumah tradisional, baik di pedesaan maupun di perkotaan dalam bentuk batangan (bulat), bilah, dan anyaman dengan sistem sambungan tradisional dengan menggunakan tali ijuk, pasak, dan paku (Purwito, 2008). Salah satu contohnya pada Gambar 2.6, sering dijumpai di pedesaan sarana penyeberangan di sungai-sungai kecil menggunakan jembatan tradisional berbahan bambu.



Gambar 2.6 Jembatan Tradisional dari Anyaman Bilah Bambu
(Sumber: Dunkelberg, 1992)

Pada era sesudah tahun 1980, perkembangan teknologi bambu mulai berkembang sehingga banyak produksi bahan komponen bangunan dari bambu, seperti panel bambu dengan perekat *resin* (lem) dan panel berbasis semen (*bamboo cement board*). Selain bahan olahan tersebut, bambu juga sudah mulai diproduksi seperti layaknya kayu misalnya, bambu laminasi, balok bambu, lantai parkit bambu, papan bambu sebagai bahan dasar furnitur, dan lantai (Purwito, 2008).

Perkembangan teknologi sudah demikian maju sehingga segala kelemahan bambu sudah dapat direkayasa dan diatasi, salah satunya dengan sistem sambungan konstruksi yang menggunakan berbagai jenis konektor, sehingga memungkinkan bambu digunakan sesuai dengan desain yang diinginkan dan masih memenuhi persyaratan teknis. Oleh karena itu, keterbatasan bambu pada bangunan-bangunan khusus yang mempunyai tingkat kesulitan tinggi sudah dapat diatasi, bahkan di beberapa negara maju bambu digunakan sebagai material konstruksi untuk bangunan penting seperti villa, tribun stadion, kantor bertingkat, hingga jembatan dengan bentang lebar (Dunkelberg, 1992).

2.2 PENGAWETAN BAMBU

Sebagai alternatif pengganti kayu, bambu mempunyai banyak keunggulan, tetapi perlu diperhatikan bahwa bambu juga mempunyai beberapa kendala salah satunya, yaitu mudah terkena serangan hama sehingga mengakibatkan bambu menjadi tidak awet.

Penyebab kerusakan bambu bersifat non biologis dan biologis. Penyebab kerusakan bambu non biologis yang terpenting adalah kadar air. Kadar air yang tinggi mengakibatkan kekuatan bambu menurun dan mudah lapuk. Penyebab kerusakan bambu biologis adalah rayap, kumbang bubuk, dan jamur. Kumbang bubuk hidup dalam jaringan serat

bambu dan mengambil sari makanan yang berupa pati. Oleh karena itu, prinsip pengawetan bambu adalah mengeluarkan zat pati yang menjadikan kumbang bubuk hidup dan berkembang (Handayani, 2007). Tujuan pengawetan adalah untuk mempertahankan mutu bambu sebagai bahan baku serta menjaga mutu hasil produksi, yaitu dengan meningkatkan daya tahan bambu terhadap kemungkinan terjadinya kerusakan biologis.

2.2.1 Boraks sebagai Larutan Pengawet pada Bambu

Pada dasarnya, bambu merupakan material organik yang diperoleh langsung dari alam, oleh sebab itu, penurunan kualitas bambu utamanya diakibatkan oleh hama maupun jamur yang menjadikan bambu sebagai sumber makanan dan tempat berkembangbiak. Atas dasar itu, diupayakan suatu cara agar bambu tahan terhadap hama ataupun jamur, yaitu dengan cara pemberian bahan pengawet berupa racun yang dapat mematikan hama dan jamur secara permanen, mudah meresap, tidak membahayakan manusia dan hewan, tidak merusak bambu, dan tersedia dalam jumlah banyak serta harganya terjangkau.

Penelitian mengenai metode pengawetan dengan perendaman yang diberikan terhadap bambu Ampel dan Petung telah dilakukan dengan variasi jenis larutan air bersih dan boraks. Perendaman dalam air mengalir dilakukan selama 12 minggu (3 bulan), tingkat kerusakan masing-masing sebesar 1,01% dan 0,72% yang termasuk kategori serangan ringan dan ada bekas gigitan, sedangkan perendaman dalam larutan boraks 10% dengan jangka waktu selama 5 hari, tingkat kerusakan masing-masing sebesar 1,36% dan 0,97% yang termasuk kategori serangan ringan dan ada bekas gigitan (Susilaning dan Suheryanto 2012). Berdasarkan hasil penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahan pengawet yang lebih efektif digunakan pada bambu adalah boraks.

Boraks adalah senyawa berwujud serbuk kristal dengan nama kimia *Natrium Tetraborat* ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) yang mengandung 99-105% $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ dengan sifat: hablur transparan, tidak berbau, berwarna putih, dan larut dalam air. Senyawa boraks dikenal sebagai bahan yang mampu membunuh bakteri pembusuk (Handayani, 2007). Mekanisme boraks yang digunakan sebagai bahan pengawet, yakni dengan penyerapan boraks yang menggantikan zat pati dalam rongga sel bambu. Daya pengawet yang kuat dari boraks berasal dari kandungan asam borat di dalamnya (Nugroho, 2010).

2.2.2 Prosedur Pengawetan Menggunakan Boraks

Secara tradisional, metode pengawetan yang dilakukan oleh masyarakat Indonesia dengan cara direndam dalam air membutuhkan waktu yang cukup lama hingga berbulan-bulan. Maka dari itu, penggunaan boraks sebagai larutan pengawet ditujukan guna mempersingkat lama waktu perendaman dengan hasil yang lebih efektif.

Teknik pengawetan yang digunakan adalah perendaman dalam larutan kimia (boraks). Di dalam bak perendaman diisi campuran air dan boraks dengan konsentrasi boraks sebesar 2,5%. Bak dan air yang digunakan harus bersih dan terbebas dari kandungan minyak dan kotoran. Bambu dipotong-potong menjadi bentuk bilah atau bulat utuh dan selanjutnya dimasukkan ke dalam bak. Proses perendaman dilakukan selama 5-6 hari, setelah itu bambu dikeringkan di ruang terbuka tanpa terkena sinar matahari langsung (Suprijanto dan Kusmawan 2009).

2.2.3 Sifat Mekanis Bambu yang Diawetkan dengan Boraks

Berdasarkan mekanisme boraks sebagai bahan pengawet pada bambu, semakin rendah kandungan zat pati, maka semakin tinggi kekuatan mekanisnya, sehingga penambahan konsentrasi boraks dalam larutan pengawet berpengaruh terhadap sifat mekanis bambu. Hal ini dibuktikan dari penelitian pada bambu Ori yang diawetkan dengan larutan boraks 10% (Handayani, 2007). Setelah proses pengawetan dengan boraks, bambu Ori mengalami penurunan kadar air secara signifikan rata-rata sebesar 10% pada keseluruhan batangnya. Kadar air tersebar dari pangkal hingga ujung batang dengan persentase terbesar ada di pangkal, kemudian berkurang ke arah ujung batang. Berdasarkan korelasi kadar air terhadap sifat mekanis bambu, maka nilai kekuatan mekanis terbesar terletak pada bagian ujung yang memiliki kadar air terendah. Pernyataan ini diperkuat melalui hasil pengujian pada Tabel 2.1 yang menunjukkan pengaruh kuat tarik bambu Ori pasca pengawetan dengan boraks 10%, dimana bambu Ori yang diawetkan menggunakan boraks secara keseluruhan memiliki kuat tarik yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa boraks, sedangkan nilai kuat tarik tertinggi pada seluruh hasil pengujian terdapat pada bagian ujung batang yang tidak terpengaruh oleh keberadaan nodia (ruas). Pengaruh serupa juga terdapat pada Tabel 2.2, dimana bambu Ori yang diawetkan menggunakan boraks memiliki kuat tekuk yang lebih tinggi dengan nilai tertinggi terdapat pada bagian ujung batang tanpa nodia (ruas).

Tabel 2.1 Perbandingan Kuat Tarik Bambu Ori dengan Pengawet Boraks

Posisi	Boraks [MPa]		Tanpa Boraks [MPa]	
	Nodia	Tanpa Nodia	Nodia	Tanpa Nodia
Pangkal	300,151	311,229	250,458	279,621
Tengah	302,868	315,516	256,327	283,112
Ujung	317,110	319,323	274,238	288,395

(Sumber: Handayani, 2007)

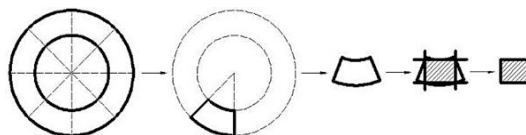
Tabel 2.2 Perbandingan Kuat Tekuk Bambu Ori dengan Pengawet Boraks

Posisi	Boraks [MPa]		Tanpa Boraks [MPa]	
	Nodia	Tanpa Nodia	Nodia	Tanpa Nodia
Pangkal	237,575	258,253	149,361	151,290
Tengah	235,118	282,206	152,509	154,186
Ujung	247,323	288,553	155,684	167,916

(Sumber: Handayani, 2007)

2.3 TEKNOLOGI BAMBU LAMINASI

Bambu memiliki batang silinder asimetris dengan ukuran diameter yang mengecil dimulai dari bagian pangkal hingga ke ujung batang. Namun demikian, teknik perekatan memungkinkan penggabungan antara beberapa elemen yang tidak seragam menjadi satu kesatuan. Dalam hal ini, terlebih dahulu bambu diproses menjadi bilah berbentuk batang prismatis dengan potongan melintang berupa persegi. Setelah itu, elemen-elemen ini diolesi perekat dan dikempa menjadi papan atau balok. Mengingat gabungan elemen-elemen ini terbentuk dari beberapa lapis, papan dan balok yang dihasilkan disebut dengan papan/balok lapis atau papan/balok laminasi (Budi, 2007). Tahapan pembentukan elemen bambu laminasi diilustrasikan pada Gambar 2.7, dimana bambu utuh dipecah secara memanjang dan kemudian semua sisi diratakan, sehingga dihasilkan bilah bambu yang seragam.



Gambar 2.7 Potongan Melintang Batang Bambu yang Diproses Menjadi Bilah

Bambu laminasi pada awalnya didasari oleh pemikiran dari balok *glulam* (*glue laminated beam*). Balok *glulam* dibuat dari lapisan-lapisan kayu yang relatif tipis, kemudian

digabungkan dan direkatkan sedemikian rupa sehingga menghasilkan balok kayu dalam berbagai ukuran dan panjang (Suprijanto & Kusmawan, 2009).

2.3.1 Susunan Laminasi

Bahan kayu untuk perkapalan harus mempunyai sifat tertentu yang lebih baik bila dibandingkan dengan kayu untuk penggunaan secara umum. Hal tersebut dikarenakan kondisi kapal yang berada dalam air, dimana terdapat gaya hidrostatis yang bekerja pada kapal (Tarkono, 2006). Oleh karena itu, bahan kayu yang digunakan dalam bidang perkapalan haruslah awet, kuat, serta kedap air.

Keawetan bambu laminasi sebagai material konstruksi telah disokong dengan metode pengawetan menggunakan boraks, sedangkan kekuatan dan kedapannya bambu laminasi diperoleh dari susunan laminasi yang diterapkan.

Penempatan sambungan bambu laminasi seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.8 dibuat tidak segaris atau disebut dengan metode tumpuk bata (Prabowo & Supomo, 2013). Penempatan sambungan metode tumpuk bata akan lebih kuat dibandingkan dengan yang segaris dan menjadikannya bersifat kedap oleh karena susunan antar bilah yang tidak mudah ditembus fluida. Selain itu, penempatan sambungan metode tumpuk bata menjadikan kembang susut produk yang relatif kecil.



Gambar 2.8 Potongan Melintang Susunan Papan Laminasi dengan Metode Tumpuk Bata

Standar produksi yang ditetapkan dalam teknologi laminasi salah satunya adalah mengenai ukuran tebal tiap lapisan. Teknologi laminasi yang digunakan sebagai konstruksi kapal harus memiliki tebal tiap lapisan pada kisaran 5-20 milimeter (BKI Kapal Kecil ≤ 24 m, 2013). Adapun lebar lapisan tidak diberi batasan, namun untuk mencapai standar maka ditetapkan ukuran lebar bilah harus seragam. Khusus pada bambu Ori, tebal bilah laminasi yang telah diratakan berkisar antara 5 – 7 mm.

2.3.2 Perekatan Laminasi

Proses penyambungan laminasi sangat terkait dengan proses perekatan. Dalam proses perekatan bambu laminasi ada tiga aspek utama yang mempengaruhi kualitas hasil

produksi, yaitu aspek bahan yang direkat (bambu), aspek bahan perekat (matriks), dan aspek teknologi perekatan. Aspek bahan yang direkat (bambu) meliputi struktur dan anatomi bambu (arah serat) dan sifat fisis (kadar air, berat jenis, dan porositas). Aspek bahan perekat meliputi jenis, sifat, dan kegunaan perekat. Aspek teknologi perekatan meliputi komposisi perekat, berat laburan, pengempaan, dan kondisi kerja (durasi, suhu, cara pelaksanaan) (Budi, 2007).

Pemeriksaan yang paling utama pada bambu sebelum dilakukan perekatan adalah faktor kadar air. Mengacu pada regulasi BKI tahun 2013 tentang Kapal Kecil ≤ 24 meter, disyaratkan nilai kadar air untuk kayu lapis/laminasi sebelum proses perekatan adalah kurang dari 20%. Bilah bambu yang basah (kadar air $\geq 20\%$) menghasilkan perekatan laminasi yang tidak maksimal akibat kandungan air berlebih yang mempengaruhi proses *curing* dari perekat.

Aspek bahan perekat (matriks) merupakan material pengikat serat laminasi. Bahan yang umumnya dipakai sebagai perekat adalah *resin* atau *polimer*, sedangkan *resin* dalam bidang perkapalan dikategorikan sebagai perekat *marine use*, sehingga jenis perekat yang sesuai untuk kondisi tersebut adalah *resin epoxy*, dengan keunggulan mampu menahan resapan air dan memiliki kekuatan mekanis paling tinggi dibandingkan *resin* jenis lainnya. Adapun spesifikasi teknis *resin epoxy* adalah sebagai berikut: massa jenis 1,20 gr/cm³; modulus young 3,2 GPa; dan angka poisson 0,37 (Manuputty & Berhиту, 2010).

Aspek terakhir yang berpengaruh terhadap hasil perekatan adalah pengempaan. Pengempaan adalah teknik pengerjaan dengan memberikan beban luar kepada benda kerja (papan laminasi). Pengempaan dilakukan dari atas ke bawah atau dengan kata lain tegak lurus terhadap susunan laminasi, hal ini bertujuan untuk memastikan perekat merata dan meresap ke rongga-rongga antar sambungan dengan ketebalan setipis mungkin dan mengeliminasi timbulnya porositas sehingga standar kuat, awet, dan kedap suatu laminasi dapat terpenuhi. Metode pengempaan/pengepresan dibagi menjadi dua macam: *cold pressing* dan *hot pressing* (Oka, 2008). Pada dasarnya, kedua metode pengempaan ini hanya dibedakan dari segi kapasitas produksi, dimana *hot pressing* menggunakan bantuan suhu dan tekanan tertentu, sehingga durasi pembentukan produk laminasi menjadi lebih singkat, namun membutuhkan biaya yang relatif mahal.

2.3.3 Keunggulan Bambu Laminasi

Bambu laminasi memiliki kekuatan yang tinggi terhadap abrasi dan momen lentur. Berdasarkan hasil penelitian tentang ketahanan lantai bambu laminasi terhadap abrasi diperoleh kesimpulan bahwa, ketahanan lantai bambu laminasi adalah sekitar 130 persen dari ketahanan lantai kayu Kempas (*Koompasia malaccensis*), atau sekitar lima kali ketahanan kayu karet. Bambu laminasi yang dihasilkan jika dibandingkan dengan papan partikel secara acak, mempunyai MoR 4-7 kali dan MoE 4-6 kali lebih besar. Mengingat kekuatan tersebut, bambu laminasi cocok digunakan sebagai lantai bangunan gedung, lantai truk, bekisting beton, dan material konstruksi lainnya. Secara garis besar, keuntungan yang dapat diperoleh dari teknologi laminasi antara lain (Suprijanto & Kusmawan, 2009):

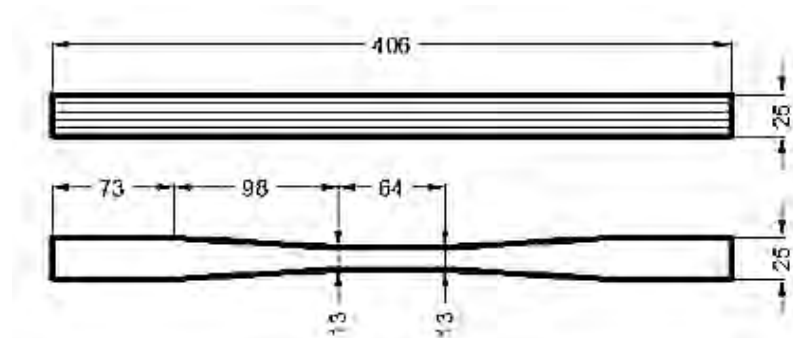
1. Teknologi laminasi secara tidak langsung dapat mengatasi masalah retak, pecah, ataupun cacat akibat pengeringan karena terdiri atas lembaran-lembaran tipis, sehingga pengeringan lebih cepat dan mudah.
2. Produk laminasi yang berlapis-lapis memungkinkan untuk memanfaatkan lapisan berkualitas lebih rendah untuk disisipkan di antara lapisan luar dan lapisan dalam seperti halnya produk kayu lapis.
3. Teknologi laminasi memungkinkan pembuatan struktur berukuran bentang besar yang lebih stabil karena seluruh komponen yang digunakan telah dikeringkan sebelum dibentuk menjadi produk laminasi,
4. Arah serat laminasi dapat dipasang bersilangan, sehingga susunan ini akan menjadikan kembang susut produk tidak terlalu besar.

2.3.4 Standar Uji Tarik dan Tekuk Bambu Laminasi

Bambu laminasi termasuk dalam standar ASTM mengenai Kayu dan Komposit yang meliputi material *plywood*, papan laminasi, papan komposit, dan papan lapis lainnya yang berbahan dasar kayu dengan kode D3500 untuk Standar Metode Pengujian Tarik dan kode D3043 untuk Standar Metode Pengujian Tekuk.

Metode pengujian tarik dibagi menjadi dua kategori: A untuk spesimen kecil dan B untuk spesimen besar. Bambu laminasi termasuk dalam kategori A, sedangkan dimensi spesimen untuk kategori A dibagi dalam tiga tipe: A untuk tebal bilah lebih dari $\frac{1}{4}$ inci atau 6 mm, B untuk tebal bilah kurang dari $\frac{1}{4}$ inci atau 6 mm, dan C untuk *plywood* dengan sudut susunan serat selain 0° atau 90° . Jadi, spesimen uji tarik bambu Ori termasuk kategori A tipe

B dengan dimensi yang disyaratkan mengacu pada Gambar 2.9, dimana panjang spesimen uji secara keseluruhan sebesar 406 mm dan panjang esensialnya (L0) terletak di tengah sepanjang 64 mm.



Gambar 2.9 Dimensi Spesimen Uji Tarik ASTM D3500 (satuan dalam milimeter)

Nilai kuat tarik (*stress*) dan regangan (*strain*) spesimen bambu laminasi dihitung dengan menggunakan formulasi berikut (ASTM D3500, 2004):

$$\sigma = \frac{P_{maks}}{A_0} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

σ = Kuat Tarik [N/mm²]

P_{maks} = Beban Maksimum [N]

A_0 = Luas Penampang Spesimen [mm²]

ϵ = Regangan

ΔL = L1 – L0

L_0 = Panjang Awal [mm]

Modulus elastisitas tarik spesimen bambu laminasi dihitung dengan menggunakan formulasi berikut (ASTM D3500, 2004):

$$MoE = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots\dots\dots (2.3)$$

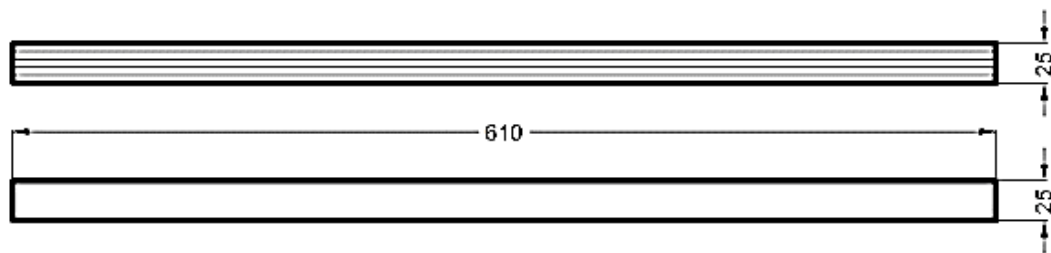
Dimana:

MoE = Modulus Elastisitas Tarik [N/mm²],

σ = Kuat Tarik [N/mm²]

ϵ = Regangan

Metode pengujian tekuk dibagi menjadi empat kategori: A untuk pengujian tekuk di titik tengah (*center-point test*), B untuk pengujian tekuk di dua titik (*two-point test*), C untuk pengujian momen alami (*pure moment test*), dan D untuk pengujian tekuk sebagai persyaratan jaminan mutu. Bambu laminasi termasuk dalam kategori A dengan hasil pengujian yang terbaca meliputi total defleksi dan modulus elastisitas. Penampang melintang spesimen uji tekuk bambu laminasi disyaratkan harus berbentuk bujur sangkar dengan ukuran tebal = lebar, sedangkan panjang minimum spesimen adalah 24 kali tebal bilah. Bila tebal bilah lebih dari ¼ inci atau 6 mm, maka tebal dan lebar penampang melintang spesimen uji harus 2 inci atau 50 mm, sedangkan bila tebal bilah kurang dari ¼ inci atau 6 mm, maka tebal dan lebar penampang melintang spesimen uji harus 1 inci atau 25 mm. Jadi, spesimen uji tekuk bambu Ori termasuk kategori A dengan dimensi yang disyaratkan mengacu pada Gambar 2.10, dimana panjang spesimen uji secara keseluruhan sebesar 610 mm dengan tebal dan lebar sebesar 25 mm.



Gambar 2.10 Dimensi Spesimen Uji Tekuk ASTM D3043 (satuan dalam milimeter)

Nilai kuat tekuk spesimen bambu laminasi dihitung dengan menggunakan formulasi berikut (ASTM D3043, 2004):

$$\text{MoR} = \frac{PLc}{4I} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

MoR = Modulus Patah [N/mm²],

P = Beban [N],

L = Panjang [mm],

c = Jarak Netral Axis ke Lapisan Serat Terdalam [mm],

I = Momen Inersia [mm⁴].

Modulus elastisitas spesimen bambu laminasi dihitung dengan menggunakan formulasi berikut (ASTM D3043, 2004):

$$EI = \left(\frac{L^3}{48}\right) \left(\frac{P}{\Delta}\right) \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana:

EI = Modulus Elastisitas [MPa] x Momen Inersia [mm⁴],

P/Δ = Beban/Defleksi [N/mm],

I = Momen Inersia [mm⁴],

L = Panjang [mm].

2.4 BAMBU LAMINASI SEBAGAI MATERIAL KOMPOSIT

Komposit adalah gabungan/campuran dari dua atau lebih komponen yang berlainan dengan tujuan untuk mendapatkan suatu bahan yang mempunyai sifat dan ciri tertentu yang berbeda dari konstituen asalnya (Carli & Widyanto, 2012). Singkatnya, komposit merupakan sistem multi fasa sifat material gabungan (Oroh, 2103).

2.4.1 Karakteristik Material Komposit

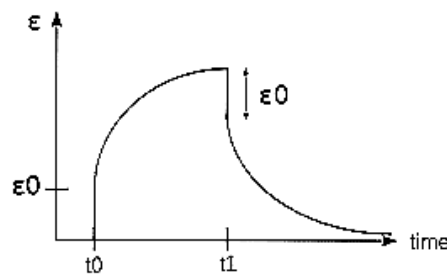
Unsur-unsur utama penyusun komposit adalah serat (penguat) dan matriks (pengikat). Fungsi utama dari penguat adalah sebagai penopang kekuatan dari komposit, sehingga tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat tergantung dari penguat yang digunakan, karena tegangan yang bekerja pada komposit mulanya diterima oleh matriks akan diteruskan kepada penguat, sehingga penguat akan menahan beban sampai beban maksimum. Oleh karena itu, penguat harus mempunyai tegangan tarik dan modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada matriksnya (Porwanto, 2007). Matriks berfungsi untuk melindungi serat dari efek lingkungan dan kerusakan akibat benturan yang umumnya bersifat lebih ulet, tetapi mempunyai kekuatan dan kekakuan yang lebih rendah, sehingga gabungan serat dan matriks dapat menghasilkan komposit yang mempunyai kekuatan dan kekakuan yang lebih tinggi dari bahan konvensional (Carli & Widyanto, 2012).

Bambu laminasi termasuk material komposit yang terdiri dari penguat berupa serat alami bambu dan matriks berupa polimer *resin epoxy*. Sebagaimana karakteristik suatu material komposit, bambu dan *resin epoxy* memiliki perbedaan sifat mekanis yang signifikan, hal ini dibuktikan dari hasil penelitian mengenai kekuatan mekanis bambu Ori yang diawetkan dengan boraks memiliki rata-rata nilai kuat tarik sebesar 311,031 MPa dan kuat tekuk sebesar 258,170 MPa (Tabel 2.1 dan Tabel 2.2), serta dari hasil penelitian mengenai kekuatan mekanis *resin epoxy* yang menggunakan 100% *hardener* memiliki rata-

rata nilai kuat tarik sebesar 41,836 MPa dan kuat tekuk sebesar 44,037 MPa (Firmansyah, 2013). Berdasarkan hasil penelitian ini disimpulkan bahwa, material komposit dengan komponen bambu Ori sebagai penguat memiliki kuat tarik dan tekuk yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan *resin epoxy* sebagai matriks pengikatnya.

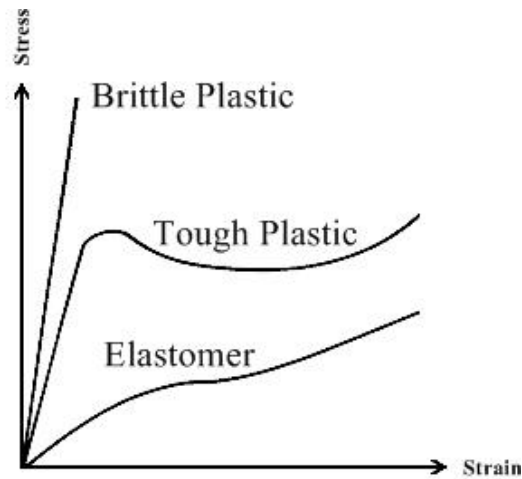
2.4.2 Perilaku Viskoelastis pada Polimer

Viskoelastis adalah perilaku material yang menunjukkan sifat kental (*viscous*) dan elastis pada waktu bersamaan ketika terjadi pembebanan. Selama pembebanan, terjadi perubahan energi pada material viskoelastis, dimana kemampuan ini sangat cocok diterapkan sebagai peredam getaran dan guncangan. Perbedaan mendasar antara viskoelastis dengan elastis adalah adanya faktor viskositas, selain itu material viskoelastis memiliki laju pemuluran/peregangan yang dipengaruhi oleh lamanya pembebanan (Sorbothane, 1986). Pada Gambar 2.11, ditunjukkan pemuluran maksimum tercapai pada waktu t_1 , dimana titik ini merupakan batas perilaku viskoelastis suatu material.



Gambar 2.11 Grafik Nilai Pemuluran (ϵ) terhadap Waktu (t)
(Sumber: <https://www.teachengineering.org/>, 2015)

Perilaku viskoelastis merupakan salah satu sifat dari polimer yang memiliki sensitivitas terhadap pembebanan dalam jangka waktu yang relatif lama (Knauss, 1973). Berdasarkan sifat tersebut, polimer terbagi dalam tiga wujud, yaitu berupa *brittle plastic*, *tough plastic*, dan *elastomer* (Hess, 2007). Selain itu, ketiga wujud tersebut memiliki karakteristik yang berbeda selama pembebanan, dimana hal ini diilustrasikan pada Gambar 2.12 yang menunjukkan *brittle plastic* memiliki tegangan tertinggi, kemudian diikuti dengan *tough plastic*, dan *elastomer* yang memiliki tegangan terendah.



Gambar 2.12 Grafik *Stress-strain* Tiap Wujud Viskoelastis
(Sumber: Hess, 2007)

Di samping faktor wujud yang berbeda-beda dalam reaksi pembebanan, suhu juga merupakan salah satu variabel terpenting yang dapat mempengaruhi sifat polimer, dimana pengaruhnya berdampak pada kemampuan material menahan beban pada suhu tinggi (*creep*) (Knauss, 1973). Sifat ini sangat penting untuk diketahui, terutama aplikasi polimer pada bidang industri yang memiliki suhu operasional di atas suhu ruang.

2.5 GAMBARAN UMUM KAPAL IKAN

Berdasarkan Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia no. 16 tahun 2010, yang termasuk kapal ikan adalah kapal, perahu, atau alat apung lain yang digunakan untuk melakukan penangkapan ikan, mendukung operasi penangkapan ikan, pembudidayaan ikan, pengangkutan ikan, pengolahan ikan, pelatihan perikanan, dan penelitian/eksplorasi perikanan. Selain itu, berdasarkan jenis/tipe tenaga penggerak yang digunakan, terdapat beberapa jenis kapal ikan, antara lain tenaga manusia (dayung), tenaga angin (layar), dan mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*) atau yang lebih dikenal dengan sebutan mesin bensin untuk tenaga kecil seperti mesin tempel (*outboard*) dan mesin *diesel* untuk tenaga yang lebih besar (DKP, 2010). Perbedaan mesin bensin dan mesin *diesel* terletak pada penempatan mesin, bila mesin tempel umumnya diletakkan di atas geladak dan bersifat *portable*, maka mesin *diesel* diletakkan khusus secara permanen di bawah geladak (kamar mesin). Jadi, kapal ikan adalah kapal khusus untuk aktivitas perikanan yang memiliki tenaga penggerak berupa dayung, angin, atau mesin pembakaran

dalam. Salah satu contoh kapal ikan yang sering dijumpai di Indonesia dapat dilihat pada Gambar 2.13, kapal ini menggunakan tenaga mesin pembakaran dalam.



Gambar 2.13 Kapal Ikan di Lampung dengan Mesin *Diesel*
(Sumber: Mukhtar, 2008)

2.5.1 Konstruksi dan Ruangan pada Kapal Ikan

Kapal ikan yang diteliti dalam Tugas Akhir ini menggunakan material jenis kayu sebagai konstruksi utamanya. Peraturan konstruksi kapal ikan di Indonesia berada dalam wewenang Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) melalui regulasi tahun 2013 tentang Kapal Kecil ≤ 24 meter, dimana dalam regulasi ini disebutkan empat jenis material yang diperbolehkan untuk konstruksi kapal ikan, antara lain: *Glass Fiber Reinforced Plastic* (GFRP), material komposit maju, kayu/kayu lapis, dan logam, dimana bambu laminasi termasuk dalam kategori kayu lapis berbahan dasar bilah/papan yang direkatkan dengan lem dan bersifat tahan air (BKI Kapal Kecil ≤ 24 m, 2013).

Sebagaimana kapal pada umumnya, kapal ikan terdiri dari beberapa ruangan dengan fungsinya masing-masing, antara lain: Ruang Akomodasi, Ruang Kemudi, Ruang Muat Ikan, Ruang Peralatan, Ruang *Steering Gear*, Kamar Mesin, dan Ceruk, dimana pada kamar mesin diketahui memiliki suhu ruang yang relatif tinggi dibandingkan dengan ruangan lainnya. Secara umum, di dalam kamar mesin terdapat mesin induk, pompa-pompa, tangki bahan bakar, sistem pendingin, serta dilengkapi ventilasi udara, dimana kondisi khusus yang disyaratkan untuk tangki bahan bakar harus dapat diisi dari geladak melalui pipa yang dipasang permanen, termasuk perlengkapan dan instalasi pipa pada tangki bahan bakar harus dilindungi oleh papan pelindung untukantisipasi apabila terjadi tumpahan atau kebocoran (BKI Kapal Kecil ≤ 24 m, 2013).

2.5.2 Mesin Penggerak Kapal Ikan

Jenis tenaga penggerak kapal ikan yang paling banyak digunakan di Indonesia adalah mesin pembakaran dalam, yaitu mesin *diesel* yang sebagian besar didapatkan dari bekas mesin otomotif (*ex-truck*), dimana ditunjukkan pada Gambar 2.14 yang merupakan contoh mesin penggerak kapal ikan hasil modifikasi mesin *ex-truck*.



Gambar 2.14 Unit Mesin Truk *Diesel* yang Digunakan pada Kapal Ikan
(Sumber: Mukhtar, 2008)

Berbeda dengan mesin bensin yang menggunakan busi untuk menyalakan campuran udara dengan bahan bakar, mesin *diesel* (*compression engine*) menggunakan panas kompresi untuk memulai pengapian dengan karakteristik bahan bakar yang disemprotkan dapat terbakar sendiri (*self ignition*). Perbedaan ini memberikan dampak terhadap daya tahan mesin yang lebih baik pada mesin *diesel*. Selain itu, mesin *diesel* memiliki efisiensi thermal tertinggi dari jenis mesin lainnya, karena memiliki rasio kompresi yang sangat tinggi dengan suhu ideal mesin berada pada kisaran 71-80 °C (MAN Diesel, 2008). Sebagai contoh, mesin *diesel* kecepatan rendah pada kapal dapat mencapai efisiensi thermal hingga melebihi 50%, sehingga penggunaan bahan bakar menjadi lebih hemat.

Penggunaan mesin *diesel* sebagai penggerak utama kapal ikan menjadikan solar sebagai satu-satunya sumber bahan bakar. Solar dihasilkan dari penyulingan minyak bumi dengan kategori menengah dan mengandung kurang dari 10% residu yang berupa hidrokarbon. Pada saat ini, solar telah mendapat perhatian khusus guna meningkatkan kualitas dan performa mesin dengan penambahan 6% unsur alami non-fosil yang disebut biosolar. Hal ini dapat mengurangi ketergantungan pengolahan solar yang bersumber pada ketersediaan minyak bumi, namun *output* yang dihasilkan sama dengan solar konvensional

(Nita & Geacai 2011). Karakteristik utama yang dimiliki solar dan biosolar dapat dicermati pada Tabel 2.3, dimana solar lebih memiliki kandungan air yang jauh lebih rendah dibandingkan biosolar, oleh karena itu solar dapat dibedakan secara kasat mata melalui wujudnya yang bersifat lebih kental.

Tabel 2.3 Perbandingan Karakteristik Solar dengan Biosolar

Parameter	Solar	Biosolar
Titik Nyala [°C]	68	130
Titik Beku [°C]	-23 s/d. -5	
Berat Jenis [kg/m ³]	843	883
Viskositas pada 40 °C [mm ² /s]	2.9 s/d. 11	
Kandungan Air [mg/kg]	105	250

(Sumber: Nita & Geacai, 2011)

Berdasarkan wawancara yang dilakukan pada salah distributor minyak pelumas di daerah Surabaya, terdapat empat jenis minyak pelumas kapal dengan masing-masing tingkat kekentalan yang dinotasikan dalam nomor SAE. Karakteristik tiap nomor SAE dapat dilihat pada Tabel 2.4, dimana minyak pelumas yang dianjurkan untuk kapal ikan menggunakan nomor SAE 40.

Tabel 2.4 Perbandingan Jenis Minyak Pelumas untuk Kapal

Parameter	SAE 10	SAE 30	SAE 40	SAE 50
Berat Jenis [kg/m ³]	879,7	890,2	893,2	901,3
Viskositas pada 40 °C [mm ² /s]	33,11	91,56	142,40	238,35
Viskositas pada 100 °C [mm ² /s]	5,90	10,82	14,40	20,19
Titik Nyala [°C]	213	226	253	273
Titik Beku [°C]	-32	-18	-12	-9

(Sumber: PERTAMINA Lubricants Guide, 2012)

Ditunjukkan pada Tabel 2.4, perubahan suhu mempengaruhi nilai viskositas dengan sifat fisis minyak pelumas akan berwujud lebih encer ketika suhu semakin tinggi, sehingga dampaknya laju dan permeabilitas fluida akan semakin tinggi.

2.5.3 Kondisi Lingkungan di Daerah Kamar Mesin Kapal Ikan

Bambu yang digunakan sebagai material konstruksi kapal ikan harus diawetkan sebelum dilakukan proses laminasi sebagai upaya meningkatkan kekuatannya. Berkaitan dengan suhu tinggi di kamar mesin, salah satu penelitian telah dilakukan tentang pengaruh pemanasan dengan *holding time* tertentu sebagai salah metode pengawetan

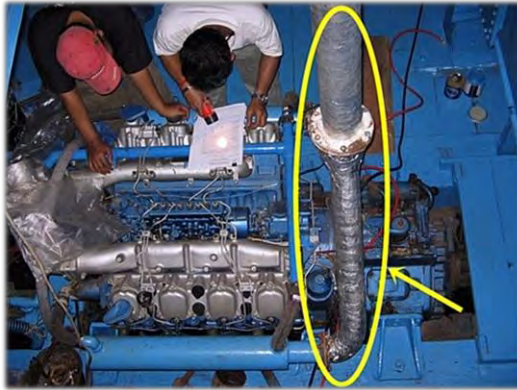
terhadap kekuatan mekanis bambu Ori. Diberikan perlakuan suhu 50 °C, 100 °C, 150 °C, 200 °C, 300°C dan *holding time* 1 jam (Fahmi, 2011). Pasca perlakuan dilaksanakan uji tekuk yang hasilnya dapat dicermati pada Tabel 2.5, dimana semakin tinggi suhu pemanasan, semakin tinggi pula nilai kuat tekuk spesimen uji, sehingga dapat disimpulkan bahwa, nilai kekuatan mekanis berbanding lurus terhadap besarnya suhu.

Tabel 2.5 Kuat Tekuk Bambu Ori Pasca Pemanasan dengan *Holding Time* 1 jam

Suhu [°C]	P [kN]	Kuat Tekuk [MPa]
50	1,35	111,53
100	1,50	137,74
150	1,80	196,60
200	1,20	149,42
300	0	0

(Sumber: Fahmi, 2011)

Suhu di daerah kamar mesin kapal ikan utamanya bersumber dari panas gas buang yang tergantung dari jenis bahan bakar yang digunakan. Suhu gas buang mesin *diesel* cenderung meningkat dan berbanding lurus terhadap peningkatan RPM mesin. Suhu tertinggi dihasilkan saat putaran 2200 RPM yang mencapai 130 °C, sedangkan suhu terendah dihasilkan saat putaran 250 RPM yang mencapai 90 °C. Suhu tinggi dari gas buang dapat diturunkan dengan penggunaan *muffler* yang sekaligus berfungsi sebagai peredam bising, sehingga suhu di ujung pipa gas buang dapat berkurang menjadi sekitar 56 °C, salah satu contoh aplikasi *muffler* di kamar mesin kapal ikan dapat dilihat pada Gambar 2.15. Selain pengaruh dari gas buang, suhu tinggi di kamar mesin juga diakibatkan oleh mesin itu sendiri, dimana suhu di sekitar mesin yang sedang beroperasi dapat mencapai lebih dari 60 °C. Oleh karena itu, RPM mesin *diesel* dibatasi maksimum sebesar 15% dari MCR, serta dapat juga ditambahkan dengan pemasangan sistem pendinginan/ventilasi tambahan untuk menjaga suhu kamar mesin tetap di bawah 45 °C (BKI Kapal Kecil \leq 24 m, 2013).



Gambar 2.15 Aplikasi *Muffler* (Panah Kuning) dengan Isolator Panas di Sekelilingnya
(Sumber: Mukhtar, 2008)

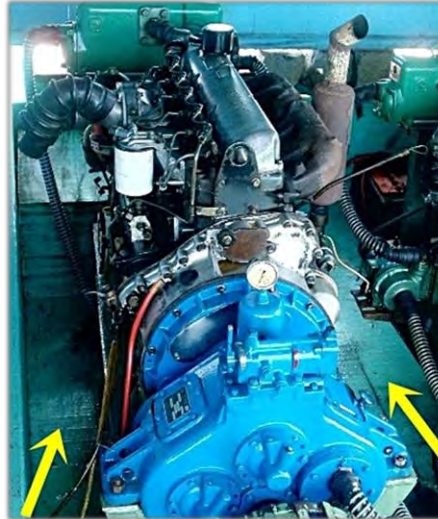
Pada kapal ikan, sudah tentu menjadi suatu kewajiban dilakukannya pengisian bahan bakar dan penggantian minyak pelumas secara berkala. Seperti yang telah dijelaskan pada subbab 2.5.1, dimana pengisian bahan bakar harus dilakukan dari geladak melalui pipa yang dipasang permanen, atau dengan kata lain tangki bahan bakar harus dapat diakses dari geladak, salah satu aplikasinya adalah dengan cara menempatkan tangki bahan bakar di atas geladak, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.16. Berbeda dengan pengisian bahan bakar, penggantian minyak pelumas dianjurkan untuk segera dilakukan sesaat setelah mesin dimatikan, sebabnya adalah minyak pelumas yang akan diganti bersifat lebih encer, sehingga sirkulasi menjadi lebih lancar dan tidak ada residu yang tertinggal.



Gambar 2.16 Tangki Bahan Bakar (Panah Kuning) yang Ditempatkan di Atas Geladak
(Sumber: Mukhtar, 2008)

Aktivitas selama pengisian bahan bakar dan penggantian minyak pelumas secara berkala menimbulkan peluang terjadinya tumpahan yang mengenai material konstruksi di daerah kamar mesin. Selain akibat kedua aktivitas tersebut, tumpahan atau percikan dapat

muncul dari sistem pelumasan pada mesin yang kurang baik, contohnya kebocoran yang dibiarkan saat mesin beroperasi dengan suhu yang sewaktu-waktu bernilai sama bahkan lebih dari suhu operasional mesin. Pada Gambar 2.17 ditunjukkan daerah kamar mesin yang paling rentan terkena tumpahan bahan bakar dan minyak pelumas yang bersuhu tinggi.



Gambar 2.17 Alas Kamar Mesin dan Sekitarnya Rentan Terkena Tumpahan

2.6 STANDARISASI BAMBUNY DALAM BIDANG KONSTRUKSI

Perancangan struktur dan konstruksi yang terbuat dari bambu haruslah mumpuni secara teknis, termasuk faktor aman yang disyaratkan wajib diperhitungkan. Atas dasar itu, Departemen Pekerjaan Umum melalui Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman telah melakukan penelitian tentang bambu, khususnya pedoman bagi masyarakat untuk mengetahui sifat fisis dan mekanis bambu. Adapun hasil dari penelitian tersebut ditunjukkan pada Tabel 2.6 yang menyatakan parameter tegangan izin bambu sebagai material konstruksi, dimana tegangan izin tertinggi adalah ketika bambu menerima tegangan tarik.

Tabel 2.6 Tegangan Izin Bambu Sebagai Material Konstruksi

Jenis Tegangan	Tegangan Izin [MPa]
Tarik	28,851
Tekuk	9,617
Tekan	7,693
E Tarik	$19,231 \times 10^3$

(Sumber: Handayani, 2007)

Berdasarkan regulasi BKI tahun 2013 tentang Kapal Kecil ≤ 24 meter perihai material laminasi yang digunakan sebagai konstruksi kapal disyaratkan bahwa, untuk bagian konstruksi yang penting harus digunakan kayu dengan mutu minimum Kelas Kuat III. Persyaratan ini salah satunya meliputi konstruksi di daerah kamar mesin termasuk geladak di atasnya, dengan tegangan izin tiap Kelas Kuat kayu yang ditunjukkan pada Tabel 2.7, dimana nilai kuat tekuk minimum kayu Kelas Kuat III adalah sebesar **71,098 MPa**. Selain itu, kayu lapis/laminasi yang digunakan sebagai konstruksi kapal secara keseluruhan harus memiliki nilai kuat tarik minimum sebesar **42,169 MPa**.

Tabel 2.7 Kuat Tekuk Minimum Material Kayu Berdasarkan Kategori Kelas Kuat

Kelas Kuat	Berat Jenis Kering	Kuat Tekuk [MPa]
I	$\geq 0,9$	$\geq 107,873$
II	0,9 - 0,6	107,873 - 71,098
III	0,6 - 0,4	71,098 - 49,033
IV	0,4 - 0,3	49,033 - 35,304
V	$\leq 0,3$	$\leq 35,304$

(Sumber: BKI Kapal Kecil ≤ 24 m, 2013)

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 PERSIAPAN BAMBU

3.1.1 Pemilihan Bambu

Material dasar yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah bambu Ori (*Bambusa arundinacea*). Bambu didapatkan dari hasil tanam penduduk di sekitar wilayah Taman Hutan Raya Raden Soerjo, Kota Pacet, Kabupaten Mojokerto, Jawa Timur. Bambu yang digunakan berusia tanam di atas empat tahun dan dibutuhkan sejumlah tiga puluh batang utuh dengan panjang masing-masing tiga meter. Gambar 3.1 di bawah ini merupakan salah satu perkebunan bambu Ori di daerah Pacet, Kabupaten Mojokerto, Jawa Timur.



Gambar 3.1 Rumpun Bambu Ori Siap Panen

Bambu yang telah ditebang kemudian disortir berdasarkan dua kriteria, pertama adalah nilai kadar air tidak boleh lebih dari 50% dan yang kedua batang bambu harus selurus mungkin tanpa adanya lengkungan yang ekstrem. Gambar 3.2 di bawah ini adalah salah satu contoh pemeriksaan kadar air bambu menggunakan alat *wood moisture meter* dengan nilai yang ditampilkan sebesar 30,6%.



Gambar 3.2 Kulit Terluar Bambu Disayat sebelum Dilakukan Pemeriksaan Kadar Air

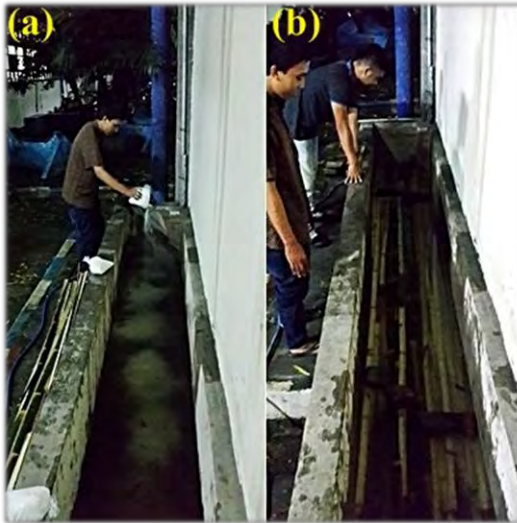
Bambu yang terpilih kemudian dipecah secara memanjang berbentuk bilah dengan ukuran lebar kurang lebih tiga setengah sentimeter. Dari proses ini didapatkan kurang lebih dua ratus bilah bambu, dimana hasilnya dapat dilihat pada Gambar 3.3. Selain itu, ruas dan kuku yang terdapat pada bambu dibersihkan untuk memudahkan proses *machining*.



Gambar 3.3 Batang Bambu yang Telah Dipecah Menjadi Bilah Sepanjang 3 meter

3.1.2 Pengawetan

Sebanyak kurang lebih dua ratus bilah bambu direndam pada bak yang berisi campuran air bersih dan larutan boraks 2,5% untuk diawetkan selama lima hari. Ditunjukkan pada Gambar 3.4 proses pencampuran boraks dan perendaman bilah dalam larutan pengawet.



Gambar 3.4 Pelarutan Boraks (a) dan Perendaman Bilah (b) dalam Larutan Pengawet

Setelah proses pengawetan, semua bilah bambu disemprotkan secara merata menggunakan larutan urea dan garam kasar dengan rasio sebesar 1:1 yang berfungsi sebagai antihama dan jamur. Proses pengawetan dan penyemprotan dilakukan seluruhnya di Laboratorium Teknologi Produksi dan Manajemen Perkapalan, Jurusan Teknik Perkapalan, ITS. Bambu dibiarkan di tempat terbuka seperti pada Gambar 3.5 dengan kondisi tanpa terkena sinar matahari langsung selama dua hari untuk proses pengeringan.



Gambar 3.5 Bilah Diposisikan Berdiri selama Pengeringan

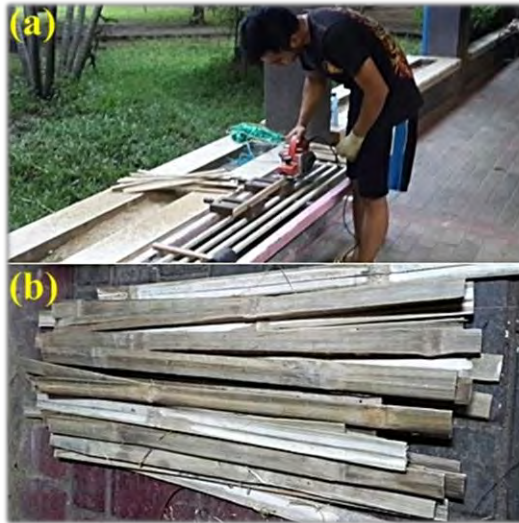
3.1.3 Pembuatan Bilah

Tiap bilah bambu ditipiskan dengan menggunakan mesin *planar* dengan ketebalan rata-rata lima milimeter. Bilah bambu selanjutnya dipotong secara melintang menggunakan *jigsaw* yang menghasilkan ukuran panjang lima puluh dan tujuh puluh centimeter, dimana hasil pemotongan ditunjukkan pada Gambar 3.6.



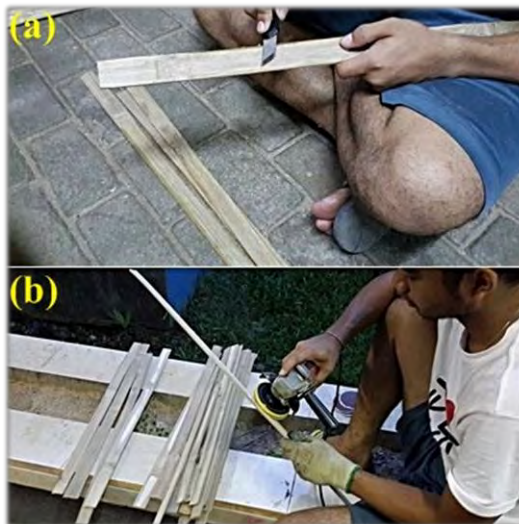
Gambar 3.6 Potongan Bilah Sepanjang 50 dan 70 cm

Dilihat dari potongan melintang, bagian samping bilah (lebar) bambu masih belum seragam dan tidak rata. Oleh karena itu, kedua sisi lebar bilah diratakan menggunakan mesin serut (*handplanar*) yang menghasilkan ukuran lebar tiga centimeter seperti ditunjukkan pada Gambar 3.7, sehingga diperoleh dimensi akhir bilah dengan ukuran 500 x 30 x 5 mm dan 700 x 30 x 5 mm.



Gambar 3.7 Pemerataan Menggunakan *Handplanar* (a) dan Hasil yang Seragam (b)

Kulit bambu dan serbuk halus yang tersisa pada daging bagian dalam sangat resisten terhadap perekat, maka sebelum dibentuk menjadi papan laminasi kedua elemen tersebut harus dibersihkan menggunakan pisau/*cutter* dan amplas. Proses pembersihan kulit dan serbuk halus pada tiap bilah ditunjukkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Bilah Satu per satu Dikuliti (a) dan Diamplas (b)

3.2 PEMBUATAN SPESIMEN UJI

Spesimen uji dibentuk dari papan laminasi utuh, dimana bahan bakunya berupa bilah-bilah bambu yang telah diproses. Adapun urutan langkah-langkah pembuatan papan laminasi dijelaskan sebagai berikut:

1. Kadar air tiap bilah diperiksa kembali dengan nilai ketentuan maksimum 20%,



Gambar 3.9 Pemeriksaan Kadar Air Tiap Bilah dengan *Moisture Meter*

2. Bilah-bilah kemudian disusun dan diberi nomor sebagai perencanaan awal setiap papan laminasi yang akan dibentuk,



Gambar 3.10 Penyusunan dan Penomoran Tiap Bilah

3. Sesuai aturan susunan metode tumpuk bata, bilah disusun satu per satu dengan ukuran 500 x 250 x 28 mm untuk spesimen uji tarik dan ukuran 700 x 250 x 28 mm untuk spesimen uji tekuk,



Gambar 3.11 Pemeriksaan Tebal Susunan Papan Laminasi dengan Jangka Sorong

4. Perekat *epoxy* dipersiapkan dengan rasio *resin-hardener* adalah 1:1 dan berat total kedua senyawa tersebut sebesar 600 gram untuk satu papan laminasi spesimen uji tarik dan 700 gram untuk satu papan laminasi spesimen uji tekuk,



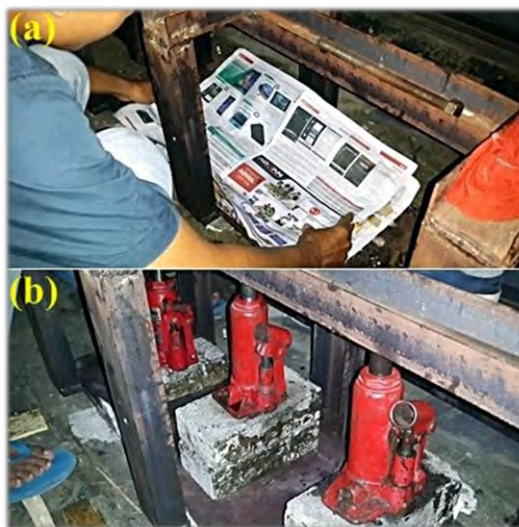
Gambar 3.12 Pengukuran Berat Perekat (a) dan Pengadukan Perekat (b)

5. Susunan bilah yang telah diberi nomor diletakkan sesuai urutannya di atas mesin *press* yang diberi alas kertas, kemudian tiap lapisan dioleskan perekat menggunakan kapi secara merata hingga lapisan terakhir/teratas,



Gambar 3.13 Aplikasi Perekat (a) dan Penyusunan Sesuai Nomor dan Lapisan Bilah (b)

6. Setelah proses pengeleman selesai, lapisan terakhir ditutupi kertas diikuti dengan peletakkan pelat bagian atas dan kemudian tiap penumpu diposisikan segaris agar proses pengempaan merata,



Gambar 3.14 Lapisan Terakhir Ditutupi Kertas (a) dan Peletakkan Penumpu (b)

7. Proses pengeringan perekat membutuhkan waktu kurang lebih selama 12 jam,
8. Papan laminasi yang telah kering dibersihkan dari sisa kertas yang menempel dan perekat yang berlebih menggunakan mesin *planar* dan amplas, dimana hasil pembersihannya dapat dilihat pada Gambar 3.15,



Gambar 3.15 Papan Laminasi Siap Dibentuk Menjadi Spesimen Uji

9. Proses terakhir, papan laminasi yang telah dibersihkan selanjutnya dibentuk menjadi dua jenis spesimen uji dengan dimensi yang disyaratkan mengacu pada Gambar 2.9 untuk uji tarik dan Gambar 2.10 untuk uji tekuk.

3.3 PERLAKUAN SPESIMEN UJI

Tiap spesimen uji diberikan kode dan nomor berdasarkan variasi dan jumlahnya guna mempermudah pengumpulan data. Kode S dan O secara berurutan adalah bahan bakar dan minyak pelumas, kode I, II, dan III secara berurutan adalah waktu perendaman 12 jam, 24 jam, dan 48 jam, sementara kode terakhir 1 s/d. 4 adalah nomor spesimen.

3.4.1 Perendaman dengan Bahan Bakar

Bahan bakar yang digunakan dalam penelitian ini adalah biosolar yang ditempatkan dalam wadah berbahan besi pelat. Spesimen uji yang telah diberi kode bahan bakar (S) selanjutnya direndam pada suhu ruang (30°C) secara bertahap seperti pada Gambar 3.16 yang berdasarkan tiga variasi waktu perendaman: 12 jam (I), 24 jam (II), dan 48 jam (III), dimana untuk satu variasi, terdapat empat spesimen uji tarik dan empat spesimen uji tekuk, sehingga total spesimen uji pada perendaman dengan bahan bakar sejumlah dua puluh empat buah.



Gambar 3.16 Perendaman Spesimen Uji dengan Bahan Bakar

3.4.2 Perendaman dengan Minyak Pelumas

Minyak pelumas yang digunakan dalam penelitian ini adalah SAE 40 yang ditempatkan dalam wadah berbahan besi pelat. Spesimen uji yang telah diberi kode minyak pelumas (O) selanjutnya direndam secara bertahap seperti pada Gambar 3.17 yang berdasarkan tiga variasi suhu: suhu ruang (30°C), 50°C , dan 100°C , dimana tiap variasi suhu terbagi menjadi tiga variasi waktu perendaman: 12 jam (I), 24 jam (II), dan 48 jam (III), sehingga total terdapat sembilan variasi. Suhu minyak pelumas selama perlakuan pada variasi 50°C dan 100°C dipertahankan bernilai konstan dengan menggunakan alat bantu *oven* elektrode, dimana untuk satu variasi, terdapat empat spesimen uji tarik dan empat spesimen uji tekuk, sehingga total spesimen uji pada perendaman dengan minyak pelumas sejumlah tujuh puluh dua buah.



Gambar 3.17 Pemanasan Minyak Pelumas dengan *Oven* Elektrode

3.4 LANGKAH PENGUJIAN

Pada tahap ini dilaksanakan pengujian tarik dan tekuk pasca perlakuan spesimen bambu laminasi menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM). Dari pengujian tarik dihasilkan grafik beban-regangan, sedangkan pada pengujian tekuk dihasilkan grafik beban-defleksi. Pengujian seluruhnya dilakukan di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan, Jurusan Teknik Perkapalan, ITS.

3.4.1 Tahapan Pengujian Tarik

Spesimen uji tarik pasca perlakuan dibersihkan dari sisa bahan bakar dan minyak pelumas yang berlebih, kemudian luas penampang melintang (A_0) di bagian tengah tiap spesimen diukur, dimana nilai A_0 digunakan dalam perhitungan kuat tarik bambu laminasi. Setelah pencatatan nilai A_0 , kedua ujung spesimen dipasang klem yang berfungsi sebagai alat bantu pengujian seperti pada Gambar 3.18.



Gambar 3.18 Pemasangan Klem pada Spesimen Uji Tarik

Universal Testing Machine (UTM) untuk pengujian tarik spesimen bambu laminasi diatur menggunakan skala beban 40 agar grafik beban-pemuluran lebih mudah dibaca. Jarum penunjuk beban pada UTM harus berada pada angka 0 sebelum diberikan pembebanan. Pembebanan diberikan secara kontinyu dengan laju pembebanan konstan dan dilakukan hingga spesimen uji patah di bagian tengah. Selama proses pengujian, spesimen yang dijepit pada UTM harus dikontrol untuk menghindari terjadinya selip seperti pada Gambar 3.19, sehingga besarnya beban dan pemuluran tiap spesimen yang ditampilkan dalam bentuk grafik pada kertas *milimeter block* dapat terbaca dengan baik. Prosedur pengujian berlaku untuk semua spesimen uji tarik.



Gambar 3.19 Pengujian Tarik

3.4.2 Tahapan Pengujian Tekuk

Spesimen uji tekuk pasca perlakuan dibersihkan dari sisa bahan bakar dan minyak pelumas yang berlebih (Gambar 3.20), kemudian titik tengah tiap spesimen ditandai dengan garis, dimana garis ini merupakan acuan pusat beban. Setelah pemberian garis acuan pusat beban, spesimen diletakkan pada tumpuan UTM.



Gambar 3.20 Spesimen Uji Tekuk Pasca Perlakuan

Universal Testing Machine (UTM) untuk pengujian tekuk spesimen bambu laminasi diatur menggunakan skala beban 40 agar grafik beban-defleksi lebih mudah dibaca. Jarum

penunjuk beban pada UTM harus berada pada angka 0 sebelum diberikan pembebanan. Pembebanan diberikan secara kontinyu dengan laju pembebanan konstan dan dilakukan hingga spesimen uji patah di bagian tengah, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.21, dimana awal terjadi patahan ditandai dengan sobeknya serat bambu secara melintang. Selama proses pengujian, besarnya beban dan defleksi tiap spesimen ditampilkan dalam bentuk grafik pada kertas *milimeter block*. Prosedur pengujian berlaku untuk semua spesimen uji tekuk.



Gambar 3.21 Pengujian Tekuk

3.5 TAHAP PENGOLAHAN DATA DAN ANALISIS HASIL PENGUJIAN

Berdasarkan grafik beban-pemuluran pada pengujian tarik, diperoleh nilai beban maksimum dan total pemuluran tiap spesimen uji. Nilai beban dan pemuluran selanjutnya diolah secara matematis dengan menggunakan formulasi 2.1, 2.2, dan 2.3, dimana secara berurutan dihasilkan nilai kuat tarik, regangan, dan modulus elastisitas tarik, sedangkan berdasarkan grafik beban-defleksi pada pengujian tekuk, diperoleh nilai beban maksimum dan total defleksi tiap spesimen uji. Nilai beban dan defleksi selanjutnya diolah secara matematis dengan menggunakan formulasi 2.4 dan 2.5, dimana secara berurutan dihasilkan nilai kuat tekuk dan modulus elastisitas tekuk spesimen uji. Hasil akhir nilai regangan/defleksi, kuat tarik/kuat tekuk, dan modulus elastisitas tiap spesimen uji diperoleh dari nilai rata-rata pada empat kali pengujian per variasi. Proses pengolahan data berlaku untuk semua spesimen uji tarik dan tekuk.

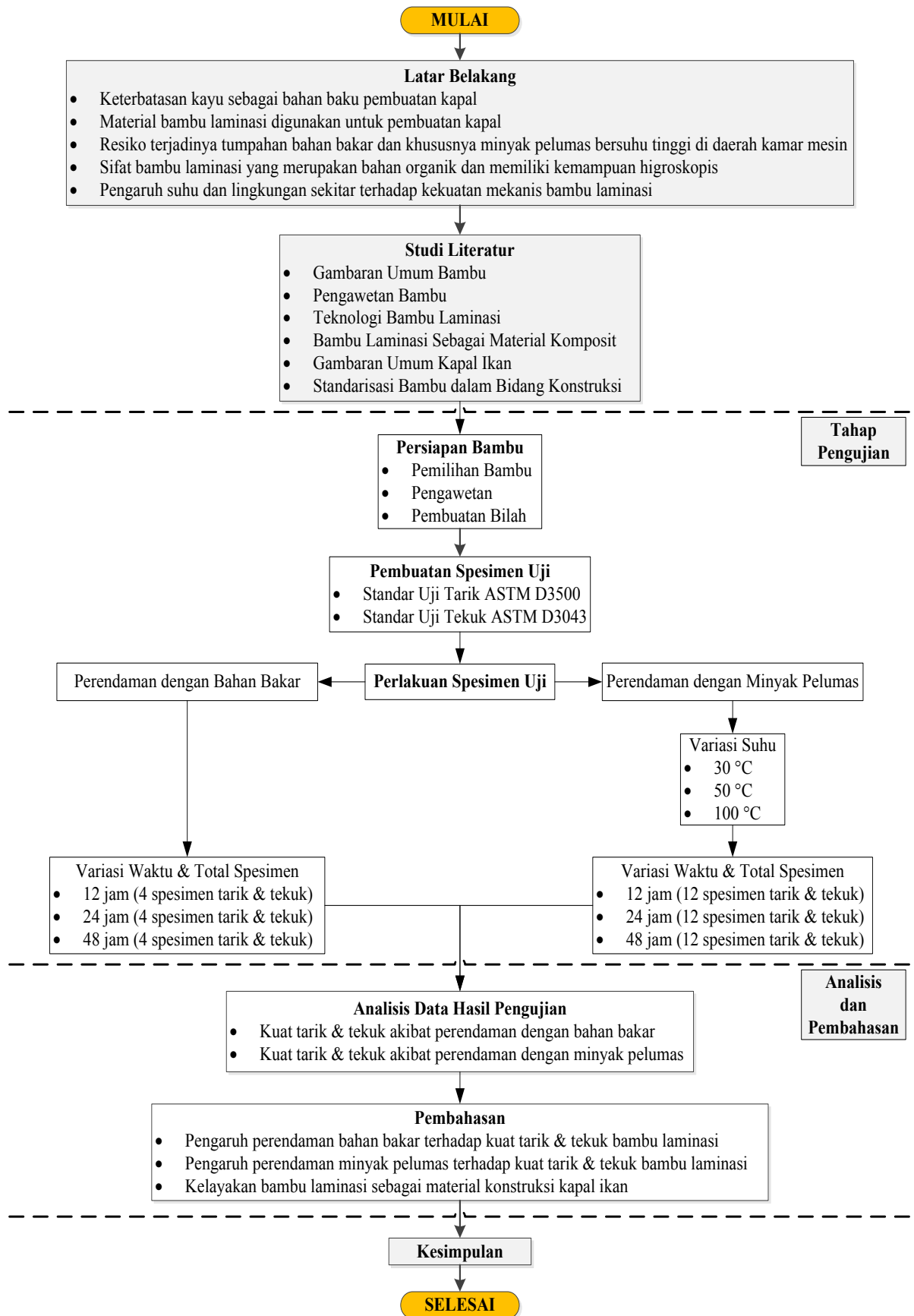
Seluruh hasil pengujian spesimen bambu laminasi yang direndam biosolar pada suhu 30 °C dan SAE 40 pada suhu 30 °C, 50 °C, dan 100 °C ditampilkan dalam grafik nilai regangan/defleksi, kuat tarik/kuat tekuk, dan modulus elastisitas yang dibandingkan dengan variasi waktu perendaman. Pembahasan dilakukan berdasarkan tren yang terdapat pada

semua grafik nilai kekuatan mekanis. Selain itu, nilai kuat tarik dan kuat tekuk terendah dari seluruh hasil pengujian dibandingkan dengan batas tegangan izin BKI tahun 2013 tentang Kapal Kecil ≤ 24 meter sebagai persyaratan material konstruksi kapal ikan di daerah kamar mesin.

3.6 DIAGRAM ALIR PENELITIAN

Berdasarkan diagram alir pada Gambar 3.22 di halaman selanjutnya, dapat diuraikan secara singkat penelitian dalam Tugas Akhir ini dilatar belakangi oleh keterbatasan kayu sebagai bahan baku pembuatan kapal, dimana kemudian bambu laminasi digunakan sebagai material alternatif, termasuk penggunaannya sebagai material konstruksi di daerah kamar mesin yang berisiko terjadi tumpahan bahan bakar dan minyak pelumas, terlebih lagi bambu laminasi merupakan bahan organik yang memiliki kemampuan higroskopis, sehingga faktor suhu dan lingkungan akan mempengaruhi kekuatan mekanis bambu laminasi. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh tumpahan bahan bakar dan khususnya minyak pelumas yang bersuhu tinggi terhadap kekuatan mekanis bambu laminasi.

Penelitian diawali dengan mempelajari berbagai referensi dan teori yang terkait dengan latar belakang permasalahan pada Gambar 3.22 yang secara berurutan dimulai dari gambaran umum bambu, pengawetan bambu, teknologi bambu laminasi, bambu laminasi sebagai material komposit, gambaran umum kapal ikan, serta standarisasi bambu dalam bidang konstruksi dan selanjutnya dilakukan pengujian yang serupa dengan kondisi di lapangan. Berdasarkan data hasil pengujian, dilakukan analisis dan pembahasan untuk mengetahui pengaruh tumpahan bahan bakar dan khususnya minyak pelumas yang bersuhu tinggi terhadap kekuatan mekanis bambu laminasi sebagai material konstruksi kapal ikan.



Gambar 3.22 Diagram Alir Penelitian

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 PENGUJIAN TARIK

Berdasarkan grafik beban-pemuluran yang tercatat selama uji tarik didapatkan nilai beban maksimum dan total pemuluran tiap spesimen uji yang selanjutnya diolah menggunakan formulasi ASTM D3500 untuk menghitung nilai regangan, dan modulus elastisitas tarik dari bambu laminasi. Hasil akhir kekuatan tarik tiap spesimen uji diperoleh dari nilai rata-rata pada empat kali pengujian per variasi, dimana perendaman dengan biosolar menggunakan 12 spesimen untuk 3 variasi waktu, sedangkan perendaman dengan SAE 40 menggunakan 36 spesimen untuk 9 variasi suhu dan waktu.

4.1.1 Perendaman dengan Biosolar pada Suhu 30 °C

Hasil uji tarik spesimen bambu laminasi pasca perendaman dengan biosolar pada suhu 30 °C dengan variasi waktu 12 jam, 24 jam, dan 48 jam ditampilkan pada Tabel 4.1. Nilai rata-rata *strain* meningkat seiring dengan lamanya perendaman, dimana nilai rata-rata *strain* pada variasi waktu 12 jam, 24 jam, dan 48 jam yang secara berurutan sebesar 19,375 %, 20,430 %, dan 23,281 %. Dapat dicermati kembali pada Tabel 4.1, nilai rata-rata kuat tarik (*stress*) menurun seiring dengan lamanya perendaman, dimana nilai rata-rata kuat tarik pada variasi waktu 12 jam, 24 jam, dan 48 jam yang secara berurutan sebesar 121,070 MPa, 105,802 MPa, dan 97,909 MPa. Tren penurunan nilai rata-rata kuat tarik juga terjadi pada nilai rata-rata modulus elastisitas, dimana terjadi penurunan yang berbanding lurus terhadap lama perendaman dengan nilai rata-rata modulus elastisitas pada variasi waktu 12 jam, 24 jam, dan 48 jam yang secara berurutan sebesar 6,269 GPa, 5,217 GPa, dan 4,202 GPa.

Tabel 4.1 Nilai Rata-rata Hasil Uji Tarik Pasca Perendaman dengan Biosolar (Variasi Waktu)

Waktu [jam]	Strain [%]	Stress [MPa]	MoE [GPa]
12	19,375	121,070	6,269
24	20,430	105,802	5,217
48	23,281	97,909	4,202

Berdasarkan hasil pengujian yang ditampilkan pada Tabel 4.1, *strain* tertinggi terdapat pada variasi waktu 48 jam dengan nilai rata-rata sebesar 23,281 %, sedangkan kuat tarik dan modulus elastisitas tertinggi terdapat pada variasi waktu 12 jam dengan nilai rata-rata untuk keduanya sebesar 121,070 MPa dan 6,269 GPa.

4.1.2 Perendaman dengan SAE 40 pada Suhu 30 °C, 50 °C, dan 100 °C

Hasil uji tarik spesimen bambu laminasi pasca perendaman dengan SAE 40 pada suhu 30 °C, 50 °C, dan 100 °C ditampilkan pada Tabel 4.2, dimana tiap variasi suhu terdapat tiga variasi waktu perendaman: 12 jam, 24 jam, dan 48 jam.

Pada variasi suhu perendaman 30 °C, nilai rata-rata *strain* menurun seiring dengan lamanya perendaman. Hal ini dapat dicermati pada Tabel 4.2, dimana nilai rata-rata *strain* pada variasi waktu 12 jam, 24 jam, dan 48 jam yang secara berurutan sebesar 18,047 %, 17,148 %, dan 15,703 %, sedangkan nilai rata-rata kuat tariknya (*stress*) meningkat seiring dengan lamanya perendaman, dimana nilai rata-rata kuat tarik pada variasi waktu 12 jam, 24 jam, dan 48 jam yang secara berurutan sebesar 106,485 MPa, 111,467 MPa, dan 120,952 MPa. Selain itu, nilai rata-rata modulus elastisitasnya juga meningkat seiring dengan lamanya perendaman, dimana nilai rata-rata modulus elastisitas pada variasi waktu 12 jam, 24 jam, dan 48 jam yang secara berurutan sebesar 5,894 GPa, 6,558 GPa, dan 7,700 GPa.

Fenomena tren penurunan nilai rata-rata *strain* pada variasi suhu 30 °C juga terjadi pada variasi suhu perendaman 50 °C yang dapat dilihat pada Tabel 4.2, dimana nilai rata-rata *strain* pada variasi waktu 12 jam, 24 jam, dan 48 jam yang secara berurutan sebesar 23,398 %, 22,422 %, dan 21,797 %. Selain itu, tren peningkatan nilai rata-rata kuat tarik dan modulus elastisitas pada variasi suhu 30 °C juga terjadi pada variasi suhu perendaman 50 °C, dimana nilai rata-rata kuat tarik pada variasi waktu 12 jam, 24 jam, dan 48 jam yang secara berurutan sebesar 114,940 MPa, 122,097 MPa, dan 137,425 MPa, sedangkan nilai rata-rata modulus elastisitas pada variasi waktu 12 jam, 24 jam, dan 48 jam yang secara berurutan sebesar 4,998 GPa, 5,467 GPa, dan 6,412 GPa.

Tren penurunan nilai rata-rata *strain* serta tren peningkatan nilai rata-rata kuat tarik dan modulus elastisitas yang terjadi pada variasi suhu 30 °C dan 50 °C juga berlaku tanpa terkecuali pada variasi suhu perendaman 100 °C, dimana hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.2 yang menunjukkan nilai rata-rata *strain* pada variasi waktu 12 jam, 24 jam, dan 48 jam yang secara berurutan sebesar 33,281 %, 31,992 %, dan 29,766 %, sedangkan nilai rata-rata

kuat tarik pada variasi waktu 12 jam, 24 jam, dan 48 jam yang secara berurutan sebesar 127,829 MPa, 134,205 MPa, dan 149,747 MPa, berikut nilai rata-rata modulus elastisitas pada variasi waktu 12 jam, 24 jam, dan 48 jam yang secara berurutan sebesar 3,856 GPa, 4,200 GPa, dan 5,041 GPa.

Tabel 4.2 Nilai Rata-rata Hasil Uji Tarik Pasca Perendaman dengan SAE 40 (Variasi Suhu & Waktu)

Suhu [°C]	Waktu [jam]	Strain [%]	Stress [MPa]	MoE [GPa]
30	12	18,047	106,485	5,894
	24	17,148	111,467	6,558
	48	15,703	120,952	7,700
50	12	23,398	114,940	4,998
	24	22,422	122,097	5,467
	48	21,797	137,425	6,412
100	12	33,281	127,829	3,856
	24	31,992	134,205	4,200
	48	29,766	149,747	5,041

Berdasarkan hasil pengujian yang ditampilkan pada Tabel 4.2, *strain* tertinggi terdapat pada variasi suhu 100 °C selama 12 jam dengan nilai rata-rata sebesar 33,281 %, sedangkan kuat tarik tertinggi terdapat pada variasi suhu 100 °C selama 48 jam dengan nilai rata-rata sebesar 149,747 MPa, serta modulus elastisitas tertinggi terdapat pada variasi suhu 30 °C selama 48 jam dengan nilai rata-rata sebesar 7,700 GPa.

4.2 PENGUJIAN TEKUK

Berdasarkan grafik beban-defleksi yang tercatat selama uji tekuk didapatkan nilai beban maksimum dan total defleksi tiap spesimen uji yang selanjutnya diolah menggunakan formulasi ASTM D3043 untuk menghitung nilai kuat tekuk dan modulus elastisitas tekuk dari bambu laminasi. Hasil akhir kekuatan tekuk tiap spesimen uji diperoleh dari nilai rata-rata pada empat kali pengujian per variasi, dimana perendaman dengan biosolar menggunakan 12 spesimen untuk 3 variasi waktu, sedangkan perendaman dengan SAE 40 menggunakan 36 spesimen untuk 9 variasi suhu dan waktu.

4.2.1 Perendaman dengan Biosolar pada Suhu Ruang (30 °C)

Hasil uji tekuk spesimen bambu laminasi pasca perendaman dengan biosolar pada suhu 30 °C dengan variasi waktu 12 jam, 24 jam, dan 48 jam ditampilkan pada Tabel 4.3. Nilai rata-rata defleksi meningkat seiring dengan lamanya perendaman, dimana nilai rata-rata defleksi pada variasi waktu 12 jam, 24 jam, dan 48 jam yang secara berurutan sebesar 92,750 mm 95,625 mm, dan 109,000 mm. Dapat dicermati kembali pada Tabel 4.3, nilai rata-rata kuat tekuk (*MoR*) menurun seiring dengan lamanya perendaman, dimana nilai rata-rata kuat tekuk pada variasi waktu 12 jam, 24 jam, dan 48 jam yang secara berurutan sebesar 98,750 MPa, 82,033 MPa, dan 75,093 MPa. Tren penurunan nilai rata-rata kuat tekuk juga terjadi pada nilai rata-rata modulus elastisitas, dimana terjadi penurunan yang berbanding lurus terhadap lama perendaman dengan nilai rata-rata modulus elastisitas pada variasi waktu 12 jam, 24 jam, dan 48 jam yang secara berurutan sebesar 3,585 GPa, 2,977 GPa, dan 2,313 GPa.

Tabel 4.3 Nilai Rata-rata Hasil Uji Tekuk Pasca Perendaman dengan Biosolar (Variasi Waktu)

Waktu [jam]	Defleksi [mm]	MoR [MPa]	MoE [GPa]
12	92,750	98,470	3,585
24	95,625	82,033	2,977
48	109,000	75,093	2,313

Berdasarkan hasil pengujian yang ditampilkan pada Tabel 4.3, defleksi tertinggi terdapat pada variasi waktu 48 jam dengan nilai rata-rata sebesar 109,000 mm, sedangkan kuat tekuk dan modulus elastisitas tertinggi terdapat pada variasi waktu 12 jam dengan nilai rata-rata untuk keduanya sebesar 98,470 MPa dan 3,585 GPa.

4.2.2 Perendaman dengan SAE 40 pada Suhu 30 °C, 50 °C, dan 100 °C

Hasil uji tekuk spesimen bambu laminasi pasca perendaman dengan SAE 40 pada suhu 30 °C, 50 °C, dan 100 °C ditampilkan pada Tabel 4.4, dimana tiap variasi suhu terdapat tiga variasi waktu perendaman: 12 jam, 24 jam, dan 48 jam.

Pada variasi suhu perendaman 30 °C, nilai rata-rata defleksi menurun seiring dengan lamanya perendaman. Hal ini dapat dicermati pada Tabel 4.4, dimana nilai rata-rata defleksi pada variasi waktu 12 jam, 24 jam, dan 48 jam yang secara berurutan sebesar 83,375 mm, 79,500 mm, dan 77,000 mm, sedangkan nilai rata-rata kuat tekuknya (*MoR*) meningkat

seiring dengan lamanya perendaman, dimana nilai rata-rata kuat tekuk pada variasi waktu 12 jam, 24 jam, dan 48 jam yang secara berurutan sebesar 82,682 MPa, 88, 948 MPa, dan 102,298 MPa. Selain itu, nilai rata-rata modulus elastisitasnya juga meningkat seiring dengan lamanya perendaman, dimana nilai rata-rata modulus elastisitas pada variasi waktu 12 jam, 24 jam, dan 48 jam yang secara berurutan sebesar 3,344 GPa, 3,764 GPa, dan 4,479 GPa.

Fenomena tren penurunan nilai rata-rata defleksi pada variasi suhu 30 °C juga terjadi pada variasi suhu perendaman 50 °C yang dapat dilihat pada Tabel 4.4, dimana nilai rata-rata defleksi pada variasi waktu 12 jam, 24 jam, dan 48 jam yang secara berurutan sebesar 111,375 mm, 108,125 mm, dan 105,375 mm. Selain itu, tren peningkatan nilai rata-rata kuat tekuk dan modulus elastisitas pada variasi suhu 30 °C juga terjadi pada variasi suhu perendaman 50 °C, dimana nilai rata-rata kuat tekuk pada variasi waktu 12 jam, 24 jam, dan 48 jam yang secara berurutan sebesar 89,169 MPa, 96,097 MPa, dan 111,844 MPa, sedangkan nilai rata-rata modulus elastisitas pada variasi waktu 12 jam, 24 jam, dan 48 jam yang secara berurutan sebesar 2,714 GPa, 2,983 GPa, dan 3,554 GPa.

Tren penurunan nilai rata-rata defleksi serta tren peningkatan nilai rata-rata kuat tekuk dan modulus elastisitas yang terjadi pada variasi suhu 30 °C dan 50 °C juga berlaku tanpa terkecuali pada variasi suhu perendaman 100 °C, dimana hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.4 yang menunjukkan nilai rata-rata defleksi pada variasi waktu 12 jam, 24 jam, dan 48 jam yang secara berurutan sebesar 154,750 mm, 150,875 mm, dan 149,250 mm, sedangkan nilai rata-rata kuat tekuk pada variasi waktu 12 jam, 24 jam, dan 48 jam yang secara berurutan sebesar 96,959 MPa, 102,880 MPa, dan 118,623 MPa, berikut nilai rata-rata modulus elastisitas pada variasi waktu 12 jam, 24 jam, dan 48 jam yang secara berurutan sebesar 2,111 GPa, 2,300 GPa, dan 2,686 GPa.

Tabel 4.4 Nilai Rata-rata Hasil Uji Tekuk Pasca Perendaman dengan SAE 40 (Variasi Suhu & Waktu)

Suhu [°C]	Waktu [jam]	Defleksi [mm]	MoR [MPa]	MoE [GPa]
30	12	83,375	82,682	3,344
	24	79,500	88,948	3,764
	48	77,000	102,298	4,479
50	12	111,375	89,169	2,714
	24	108,125	96,097	2,983
	48	105,375	111,844	3,554
100	12	154,750	96,959	2,111
	24	150,875	102,880	2,300
	48	149,250	118,623	2,686

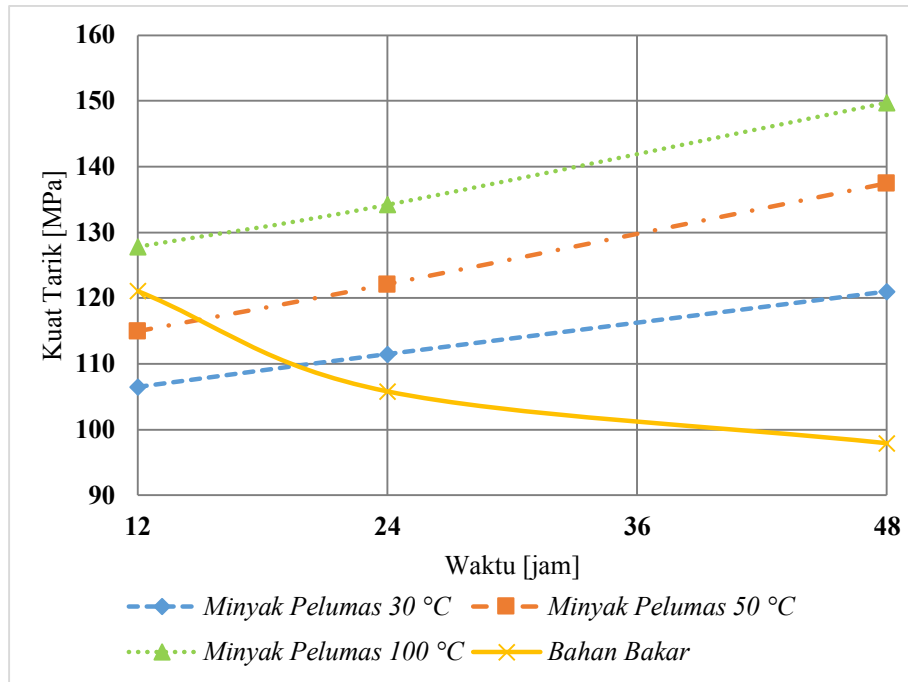
Berdasarkan hasil pengujian yang ditampilkan pada Tabel 4.4, defleksi tertinggi terdapat pada variasi suhu 100 °C selama 12 jam dengan nilai rata-rata sebesar 154,750 mm, sedangkan kuat tekuk tertinggi terdapat pada variasi suhu 100 °C selama 48 jam dengan nilai rata-rata sebesar 118,623 MPa, serta modulus elastisitas tertinggi terdapat pada variasi suhu 30 °C selama 48 jam dengan nilai rata-rata sebesar 4,479 GPa.

4.3 ANALISIS HASIL PENGUJIAN

Seluruh data hasil pengujian ditampilkan dalam grafik nilai rata-rata regangan, defleksi, kuat tarik, kuat tekuk, dan modulus elastisitas spesimen bambu laminasi akibat perendaman dengan biosolar pada suhu 30 °C dan SAE 40 pada suhu 30 °C, 50 °C, dan 100 °C yang dibandingkan dengan variasi waktu perendaman. Analisis dilakukan berdasarkan tren yang terdapat pada semua grafik nilai rata-rata kekuatan mekanis bambu laminasi.

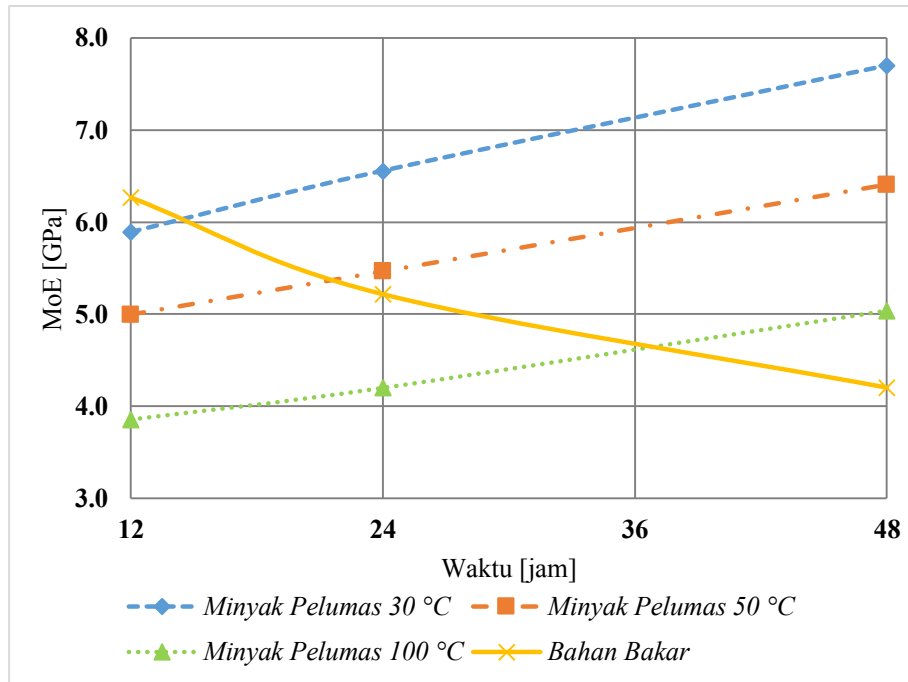
4.3.1 Kekuatan Tarik

Berdasarkan pada Gambar 4.1, perendaman dengan biosolar pada suhu 30 °C selama 12 jam, 24 jam, dan 48 jam mengakibatkan kuat tarik spesimen bambu laminasi mengalami penurunan seiring dengan lamanya perendaman, sedangkan perendaman dengan SAE 40 pada suhu 30 °C, 50 °C, dan 100 °C masing-masing selama 12 jam, 24 jam, dan 48 jam mengakibatkan kuat tarik spesimen bambu laminasi mengalami peningkatan seiring dengan tingginya suhu dan lamanya perendaman.



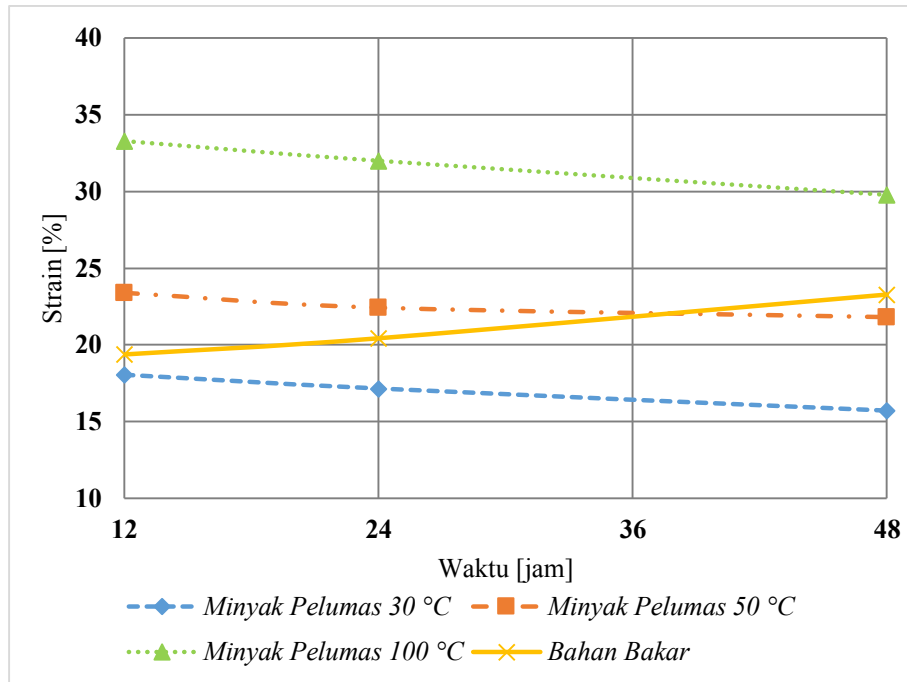
Gambar 4.1 Grafik Perbandingan Kuat Tarik terhadap Variasi Waktu

Dapat dicermati pada Gambar 4.2 yang juga memiliki tren serupa dengan kuat tarik, dimana perendaman dengan biosolar pada suhu 30 °C selama 12 jam, 24 jam, dan 48 jam mengakibatkan modulus elastisitas spesimen bambu laminasi mengalami penurunan seiring dengan lamanya perendaman, sedangkan perendaman dengan SAE 40 pada suhu 30 °C, 50 °C, dan 100 °C masing-masing selama 12 jam, 24 jam, dan 48 jam mengakibatkan modulus elastisitas spesimen bambu laminasi mengalami peningkatan seiring dengan tingginya suhu dan lamanya perendaman.



Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Modulus Elastisitas Tarik terhadap Variasi Waktu

Berbeda dengan kuat tarik dan modulus elastisitas, tren regangan pada Gambar 4.3 menunjukkan perendaman dengan biosolar pada suhu 30 °C selama 12 jam, 24 jam, dan 48 jam mengakibatkan regangan spesimen bambu laminasi mengalami peningkatan seiring dengan lamanya perendaman, sedangkan perendaman dengan SAE 40 pada suhu 30 °C, 50 °C, dan 100 °C masing-masing selama 12 jam, 24 jam, dan 48 jam mengakibatkan regangan spesimen bambu laminasi mengalami penurunan seiring dengan tingginya suhu dan lamanya perendaman.

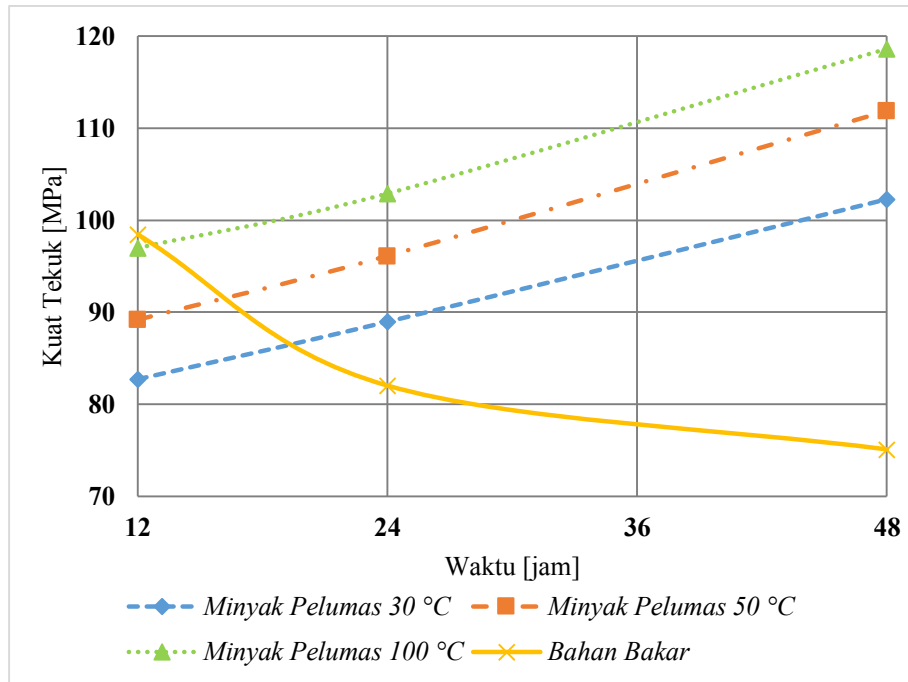


Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Regangan terhadap Variasi Waktu

Berdasarkan pada Gambar 4.1, Gambar 4.2, dan Gambar 4.3, dapat dinyatakan bahwa semakin lama suatu material bambu laminasi terkena tumpahan bahan bakar yang dikondisikan melalui perendaman menggunakan biosolar, maka semakin rendah kekuatan tarik yang dihasilkan. Berbeda dengan pengaruh tumpahan bahan bakar, semakin lama suatu material bambu laminasi terkena tumpahan minyak pelumas yang dikondisikan dengan perendaman menggunakan SAE 40 pada berbagai variasi suhu, maka semakin tinggi kekuatan tarik yang dihasilkan.

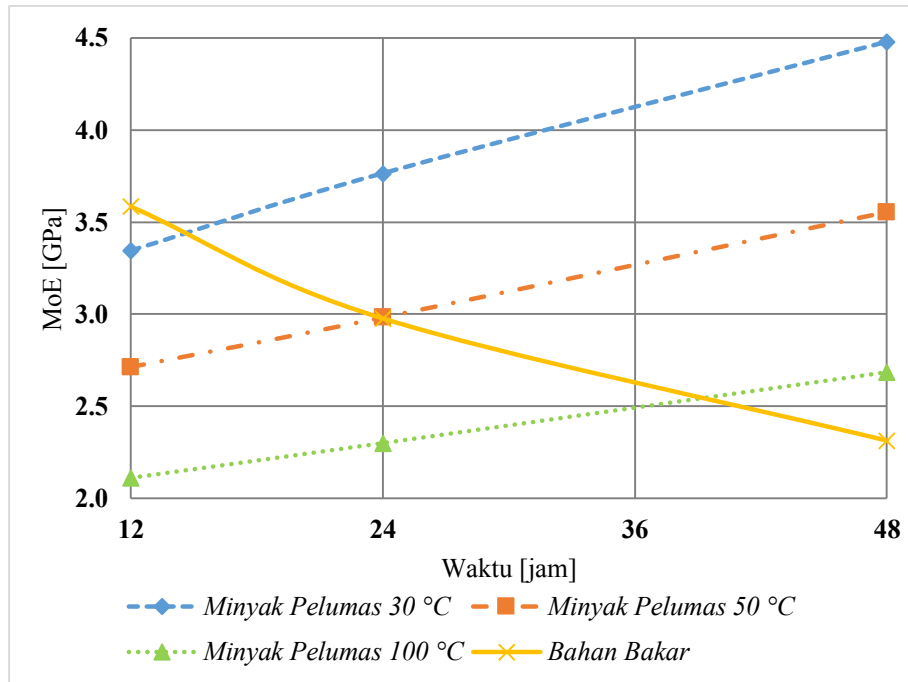
4.3.2 Kekuatan Tekuk

Berdasarkan pada Gambar 4.4, perendaman dengan biosolar pada suhu 30 °C selama 12 jam, 24 jam, dan 48 jam mengakibatkan kuat tekuk spesimen bambu laminasi mengalami penurunan seiring dengan lamanya perendaman, sedangkan perendaman dengan SAE 40 pada suhu 30 °C, 50 °C, dan 100 °C masing-masing selama 12 jam, 24 jam, dan 48 jam mengakibatkan kuat tekuk spesimen bambu laminasi mengalami peningkatan seiring dengan tingginya suhu dan lamanya perendaman.



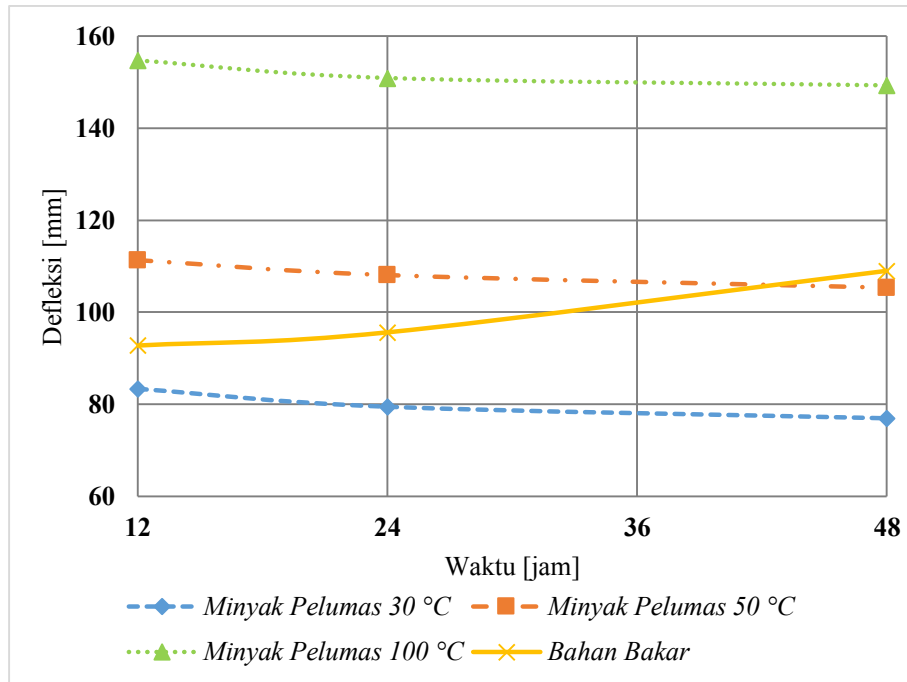
Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Kuat Tekuk terhadap Variasi Waktu

Dapat dicermati pada Gambar 4.5 yang juga memiliki tren serupa dengan kuat tekuk, dimana perendaman dengan biosolar pada suhu 30 °C selama 12 jam, 24 jam, dan 48 jam mengakibatkan modulus elastisitas spesimen bambu laminasi mengalami penurunan seiring dengan lamanya perendaman, sedangkan perendaman dengan SAE 40 pada suhu 30 °C, 50 °C, dan 100 °C masing-masing selama 12 jam, 24 jam, dan 48 jam mengakibatkan modulus elastisitas spesimen bambu laminasi mengalami peningkatan seiring dengan tingginya suhu dan lamanya perendaman.



Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Modulus Elastisitas Tekuk terhadap Variasi Waktu

Berbeda dengan kuat tekuk dan modulus elastisitas, tren defleksi pada Gambar 4.6 menunjukkan perendaman dengan biosolar pada suhu 30 °C selama 12 jam, 24 jam, dan 48 jam mengakibatkan defleksi spesimen bambu laminasi mengalami peningkatan seiring dengan lamanya perendaman, sedangkan perendaman dengan SAE 40 pada suhu 30 °C, 50 °C, dan 100 °C masing-masing selama 12 jam, 24 jam, dan 48 jam mengakibatkan defleksi spesimen bambu laminasi mengalami penurunan seiring dengan tingginya suhu dan lamanya perendaman.



Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Defleksi terhadap Variasi Waktu

Berdasarkan pada Gambar 4.3, Gambar 4.4, dan Gambar 4.5, dapat dinyatakan bahwa semakin lama suatu material bambu laminasi terkena tumpahan bahan bakar yang dikondisikan melalui perendaman menggunakan biosolar, maka semakin rendah kekuatan tekuk yang dihasilkan. Berbeda dengan pengaruh tumpahan bahan bakar, semakin lama suatu material bambu laminasi terkena tumpahan minyak pelumas yang dikondisikan dengan perendaman menggunakan SAE 40 pada berbagai variasi suhu, maka semakin tinggi kekuatan tekuk yang dihasilkan.

Mengacu pada subbab 2.1.1 mengenai sifat fisis bambu Ori, dimana disebutkan bahwa bambu termasuk zat higroskopis, sehingga bambu memiliki kemampuan untuk menyerap air yang ada di lingkungannya, baik dalam bentuk uap maupun cairan. Penelitian ini menggunakan bahan bakar berupa biosolar yang diketahui memiliki unsur hidrokarbon, dimana pada Tabel 2.5 dinyatakan kandungan airnya sebesar 250 mg/kg. Adanya kandungan air pada biosolar menimbulkan aktivitas penyerapan air oleh zat higroskopis yang ada di sekitarnya, sehingga berpengaruh signifikan terhadap kadar air suatu zat, dimana semakin lama penyerapan, semakin tinggi pula kadar airnya. Selain itu, pada subbab 2.1.1 telah dijelaskan bahwa kadar air bambu mempengaruhi sifat mekanisnya, dimana kadar air berbanding terbalik terhadap semua nilai sifat-sifat kekuatan. Oleh karena itu, bambu

laminasi yang direndam dengan bahan bakar menghasilkan tren penurunan nilai rata-rata kuat tarik dan kuat tekuk yang berbanding terbalik terhadap lamanya perendaman.

Disamping karakteristiknya sebagai zat higroskopis, faktor suhu juga memberikan pengaruh yang signifikan terhadap sifat mekanis bambu, dimana tingginya suhu dapat mengurangi kadar air pada bambu, dimana mekanisme ini digunakan dalam metode perendaman bambu dengan pemanasan yang pada dasarnya bertujuan untuk mengurangi kadar air pada bambu yang diawetkan. Penelitian mengenai hal tersebut telah dilakukan dengan pembahasan dititikberatkan pada pengaruh pemanasan dengan *holding time* tertentu sebagai salah satu metode pengawetan terhadap sifat mekanis bambu jenis Ori. Dalam penelitian ini diberikan perlakuan pada bambu Ori dengan variasi suhu pemanasan 50 °C, 100 °C, 150 °C, 200 °C, 300°C dan *holding time* 1 jam (Fahmi, 2011). Pasca perlakuan, uji tekuk dilaksanakan dan hasilnya dapat dicermati pada Tabel 2.5, dimana nilai kuat tekuk secara bertahap meningkat hingga variasi suhu 150 °C dan didapatkan juga nilai kuat tekuk tertinggi pada suhu tersebut. Terlepas dari adanya faktor perekat pada bambu laminasi, dimana sifat mekanisnya ditentukan oleh bambu itu sendiri, maka hasil penelitian ini memiliki korelasi yang serupa pada bambu laminasi yang direndam minyak pelumas dengan variasi suhu 30 °C, 50 °C, dan 100 °C, dimana pada semua variasi waktu (12 jam, 24 jam, dan 48 jam) muncul tren peningkatan nilai rata-rata kuat tarik dan kuat tekuk yang berbanding lurus terhadap tingginya suhu perendaman.

Bila dicermati berdasarkan wujudnya, air bersifat lebih encer dibandingkan dengan minyak pelumas yang lebih kental. Semakin kental suatu fluida, semakin tinggi laju difusinya. Kekentalan suatu fluida dinyatakan sebagai nilai viskositas, dimana nilai ini akan menurun seiring dengan naiknya suhu fluida tersebut. Salah satu contoh pengaruh suhu terhadap nilai viskositas dapat dicermati pada Tabel 2.4, dimana suhu 40 °C pada semua jenis minyak pelumas memiliki nilai viskositas yang lebih tinggi dibandingkan dengan suhu 100 °C. Selain itu, fluida yang berkonsentrasi lebih tinggi menghasilkan peristiwa difusi ke fluida yang berkonsentrasi lebih rendah, dimana mekanisme ini digunakan dalam metode perendaman bambu dengan larutan khusus yang pada dasarnya bertujuan untuk mengurangi kadar air pada bambu yang diawetkan. Adanya peristiwa difusi ini terjadi pula pada bambu laminasi yang direndam minyak pelumas, dimana volume air dalam serat bambu yang berkurang secara bertahap digantikan oleh minyak pelumas. Oleh karena itu, pada bambu laminasi yang direndam minyak pelumas dengan variasi waktu 12 jam, 24 jam, dan 48 jam,

dimana pada semua variasi suhu (30 °C, 50 °C, dan 100 °C) muncul tren peningkatan nilai rata-rata kuat tarik dan kuat tekuk yang berbanding lurus terhadap lamanya perendaman.

4.4 TEGANGAN IZIN BAMBU LAMINASI

Kayu lapis atau laminasi yang digunakan secara keseluruhan sebagai material konstruksi disyaratkan oleh BKI tahun 2013 tentang Kapal Kecil ≤ 24 meter harus memiliki kuat tarik lebih besar dari **42,169 MPa**, sedangkan berdasarkan hasil pengujian diperoleh kuat tarik terendah spesimen bambu laminasi sebesar **97,909 MPa**. Selain itu, konstruksi kamar mesin yang disyaratkan harus terbuat dari kayu dengan nilai Kelas Kuat III ke atas, sedangkan bambu laminasi termasuk golongan kayu Kelas Kuat II dengan berat jenis 0,79. Mengacu pada Tabel 2.7, tegangan izin yang disyaratkan untuk kuat tekuk kayu Kelas Kuat III adalah minimum sebesar **71,098 MPa**, sedangkan dari hasil pengujian diperoleh kuat tekuk terendah spesimen bambu laminasi sebesar **75,093 MPa**.

Berdasarkan hasil pengujian yang dibandingkan dengan batas tegangan izin BKI tahun 2013 tentang Kapal Kecil ≤ 24 meter, maka dapat diketahui bahwa bambu laminasi masih memenuhi regulasi yang disyaratkan untuk dipergunakan sebagai material konstruksi kapal ikan, khususnya di daerah kamar mesin yang rentan terkena tumpahan bahan bakar dan minyak pelumas yang bersuhu tinggi.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis yang telah dijabarkan secara terperinci pada bab 4, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Kuat tarik dan tekuk bambu laminasi yang terkena tumpahan bahan bakar mengalami penurunan yang berbanding terbalik terhadap variasi waktu.
2. Kuat tarik dan tekuk bambu laminasi yang terkena tumpahan minyak pelumas mengalami peningkatan yang berbanding lurus terhadap variasi suhu dan waktu.
3. Berdasarkan batas tegangan izin BKI tahun 2013 tentang Kapal Kecil ≤ 24 meter, bambu laminasi yang terkena tumpahan bahan bakar dan minyak pelumas masih layak digunakan sebagai konstruksi kapal ikan di daerah kamar mesin.

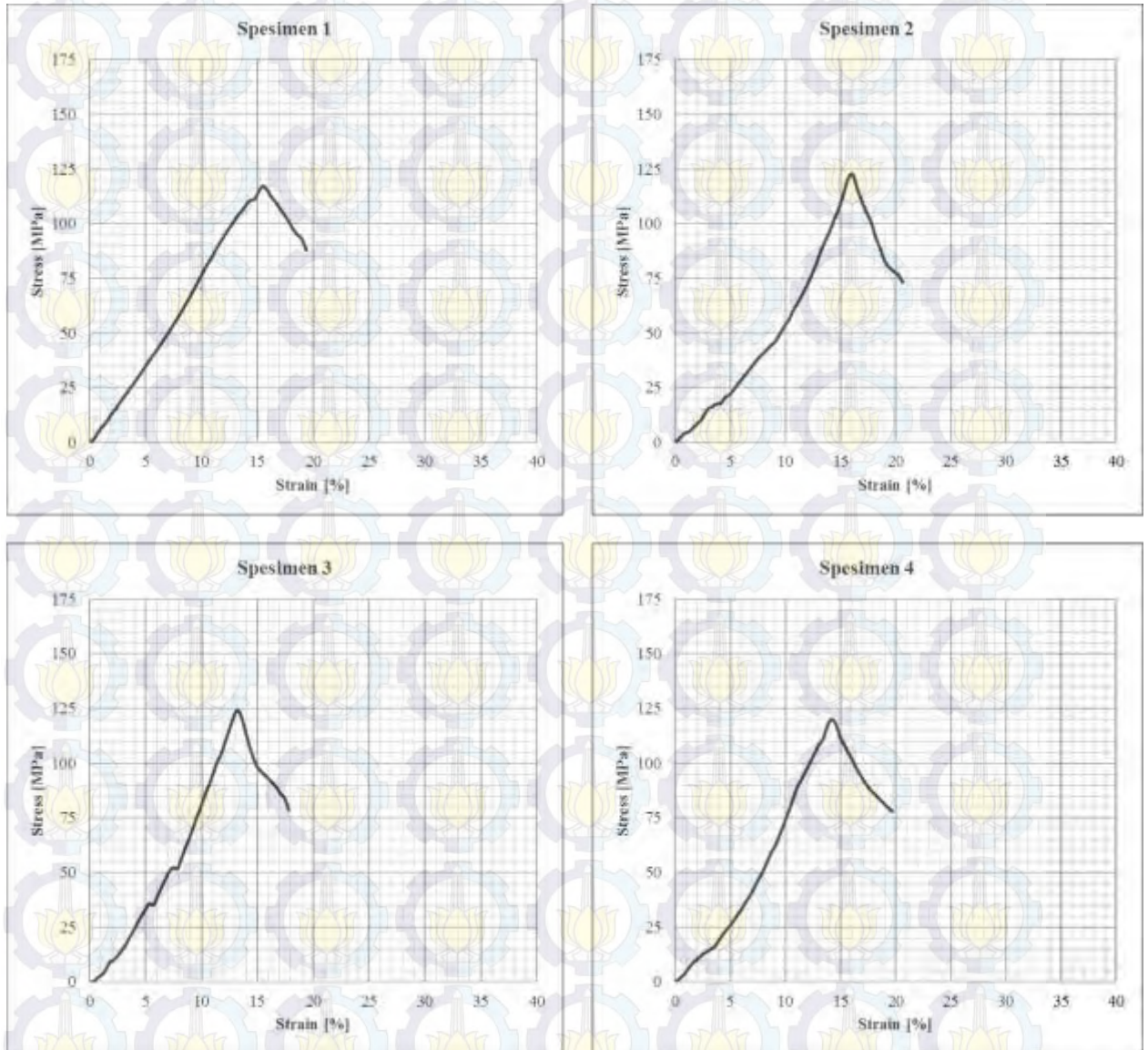
5.2 SARAN

Selama proses pengerjaan Tugas Akhir ini ditemukan beberapa kendala dan tantangan yang perlu dipecahkan pada penelitian selanjutnya, antara lain:

1. Bahan baku material laminasi pada Tugas Akhir ini terbatas pada bambu jenis Ori, maka pada penelitian selanjutnya disarankan menggunakan bambu jenis lain atau material komposit yang dapat dijadikan sebagai pembanding.
2. Variasi waktu perendaman terbatas hingga 48 jam, maka pada penelitian selanjutnya disarankan menggunakan variasi lebih dari 48 jam atau dengan variasi waktu dalam satuan hari (2 hari, 3 hari, 4 hari, dst.).

LAMPIRAN 1

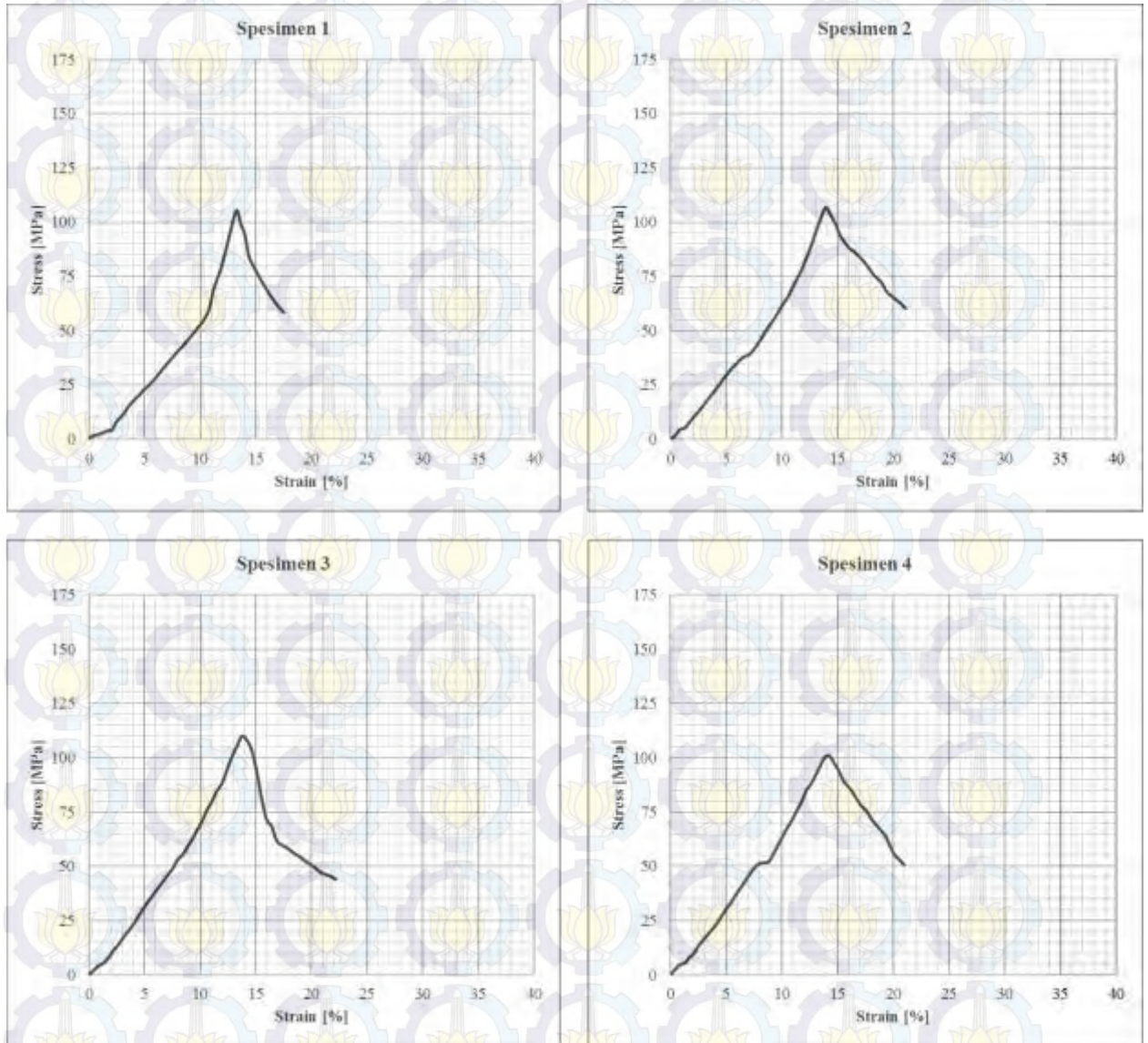
Hasil Uji Tarik Variasi Bahan Bakar pada Suhu Ruang (12 jam)



Spesimen	P_{maks} [N]	A [mm ²]	Strain [%]	Stress [MPa]	MoE [GPa]
1	22857.280	195.000	19.375	117.217	6.050
2	23915.820	195.000	20.625	122.645	5.946
3	24231.080	195.000	17.813	124.262	6.976
4	23430.580	195.000	19.688	120.157	6.103
Rataan	23608.690	195.000	19.375	121.070	6.269

LAMPIRAN 2

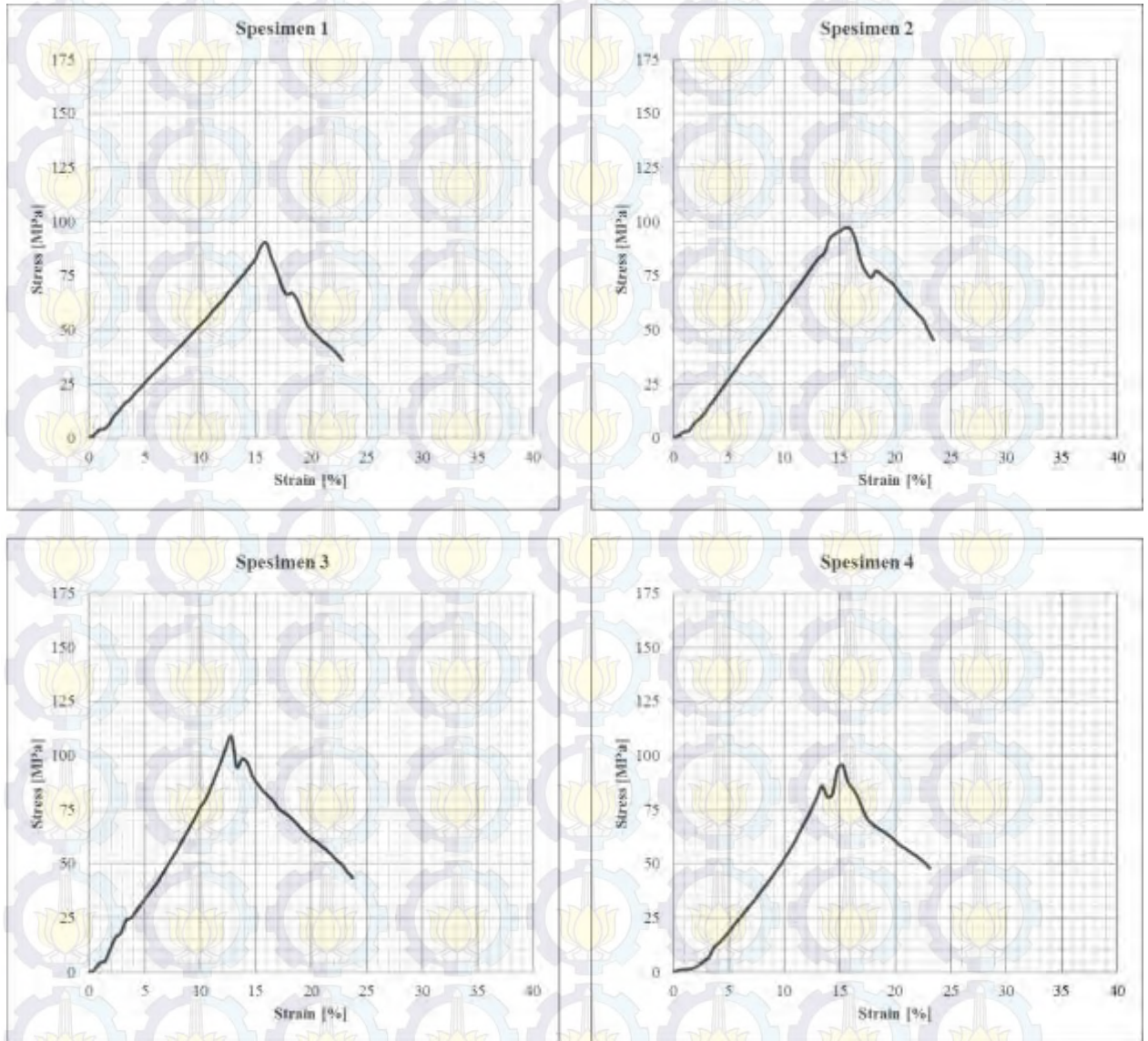
Hasil Uji Tarik Variasi Bahan Bakar pada Suhu Ruang (24 jam)



Spesimen	P_{maks} [N]	A [mm ²]	Strain [%]	Stress [MPa]	MoE [GPa]
1	20574.520	195.000	17.500	105.510	6.029
2	20820.920	195.000	21.094	106.774	5.062
3	21433.560	195.000	22.188	109.916	4.954
4	19696.800	195.000	20.938	101.009	4.824
Rataan	20631.450	195.000	20.430	105.802	5.217

LAMPIRAN 3

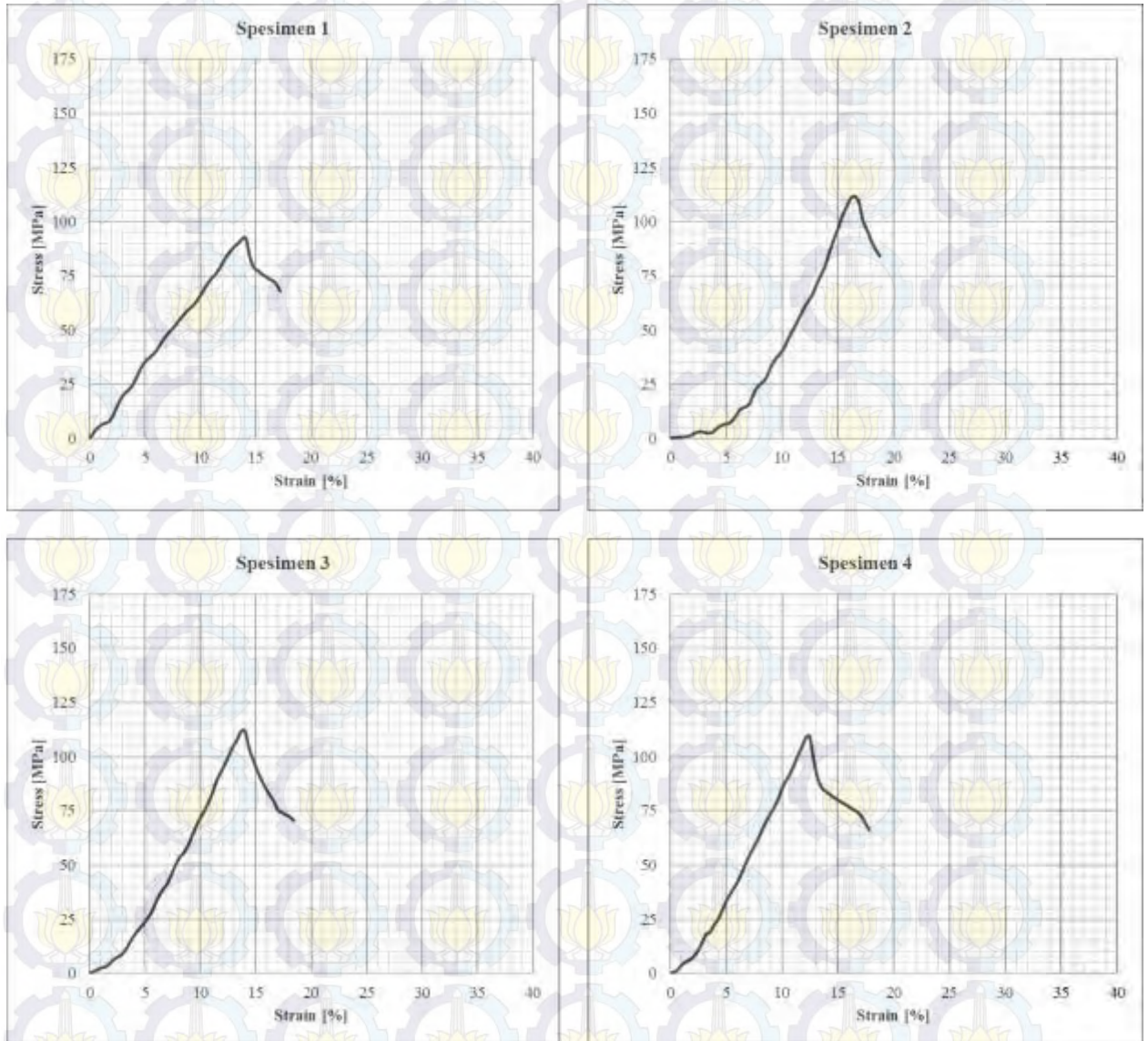
Hasil Uji Tarik Variasi Bahan Bakar pada Suhu Ruang (48 jam)



Spesimen	P_{maks} [N]	A [mm ²]	Strain [%]	Stress [MPa]	MoE [GPa]
1	17582.000	195.000	22.813	90.164	3.952
2	18917.240	195.000	23.438	97.011	4.139
3	21224.140	195.000	23.750	108.842	4.583
4	18645.960	195.000	23.125	95.620	4.135
Rataan	19092.335	195.000	23.281	97.909	4.202

LAMPIRAN 4

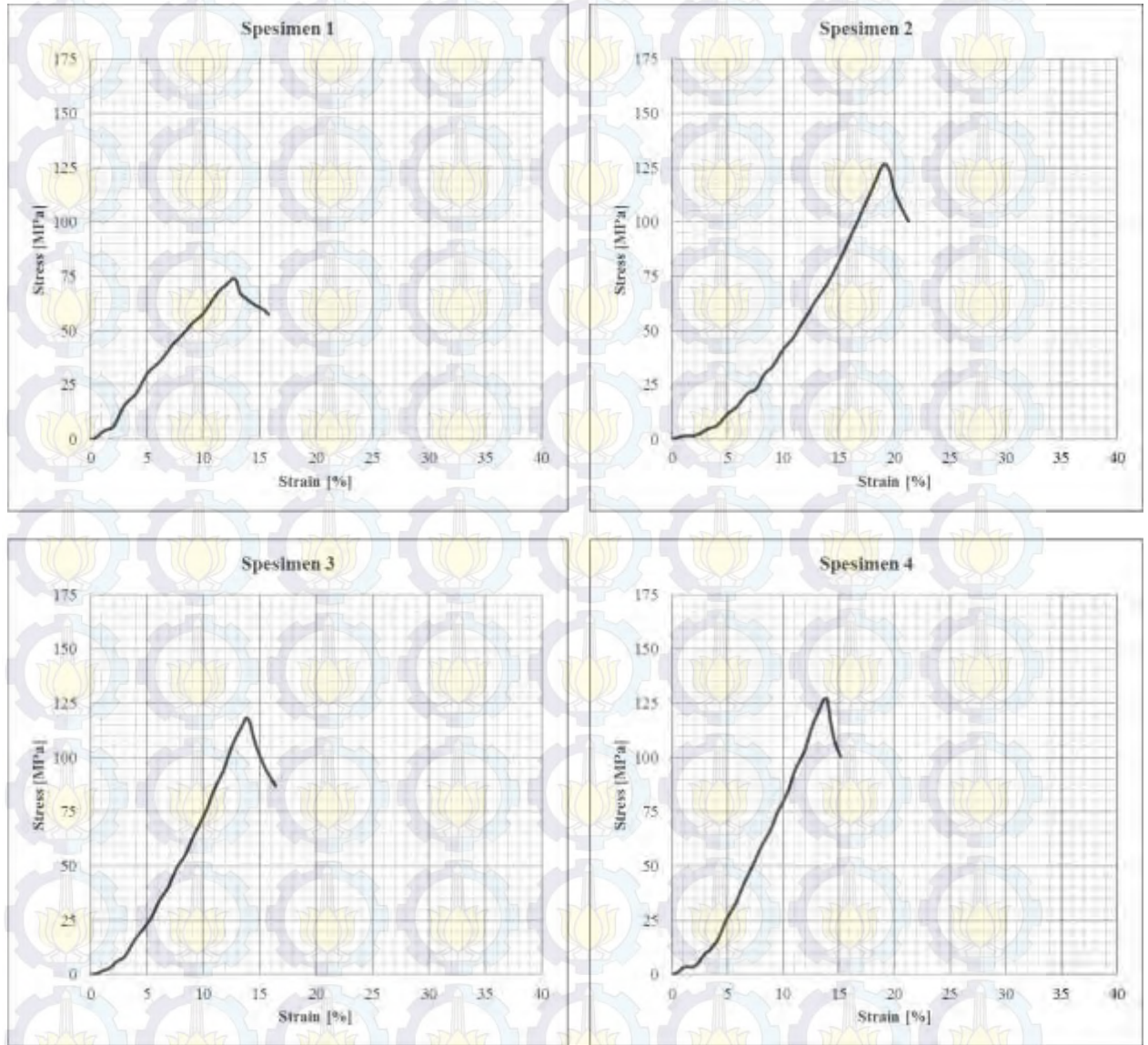
Hasil Uji Tarik Variasi Minyak Pelumas pada Suhu Ruang (12 jam)



Spesimen	P_{maks} [N]	A [mm ²]	Strain [%]	Stress [MPa]	MoE [GPa]
1	18051.460	195.000	17.188	92.572	5.386
2	21809.500	195.000	18.750	111.844	5.965
3	21845.920	195.000	18.438	112.030	6.076
4	21351.760	195.000	17.813	109.496	6.147
Rataan	20764.660	195.000	18.047	106.485	5.894

LAMPIRAN 5

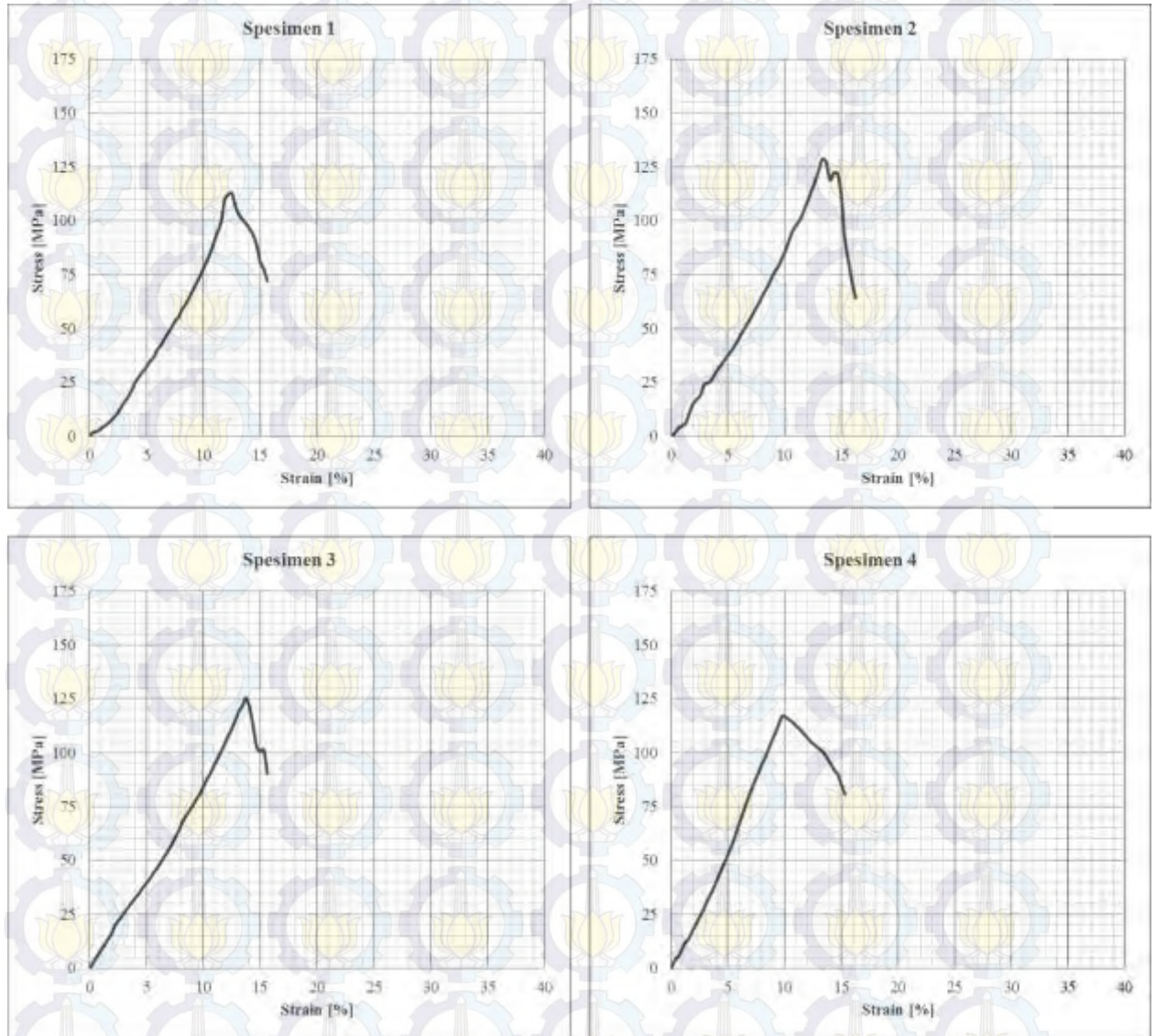
Hasil Uji Tarik Variasi Minyak Pelumas pada Suhu Ruang (24 jam)



Spesimen	P_{maks} [N]	A [mm ²]	Strain [%]	Stress [MPa]	MoE [GPa]
1	14416.120	195.000	15.781	73.929	4.685
2	24714.820	195.000	21.250	126.743	5.964
3	23058.680	195.000	16.406	118.250	7.208
4	24754.720	195.000	15.156	126.947	8.376
Rataan	21736.085	195.000	17.148	111.467	6.558

LAMPIRAN 6

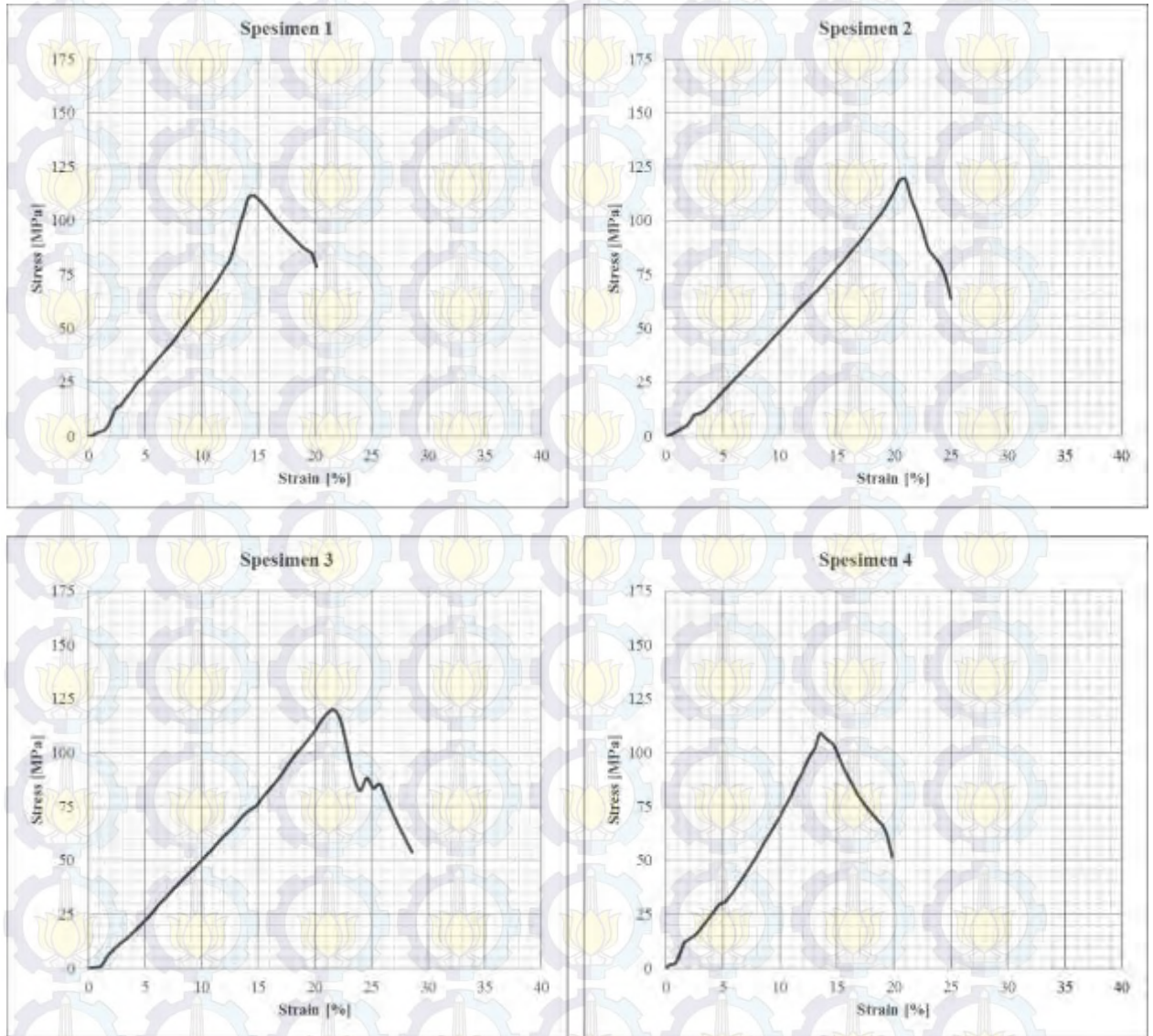
Hasil Uji Tarik Variasi Minyak Pelumas pada Suhu Ruang (48 jam)



Spesimen	P_{maks} [N]	A [mm ²]	Strain [%]	Stress [MPa]	MoE [GPa]
1	21990.880	195.000	15.625	112.774	7.218
2	25081.560	195.000	16.250	128.623	7.915
3	24447.160	195.000	15.625	125.370	8.024
4	22823.260	195.000	15.313	117.042	7.644
Rataan	23585.715	195.000	15.703	120.952	7.700

LAMPIRAN 7

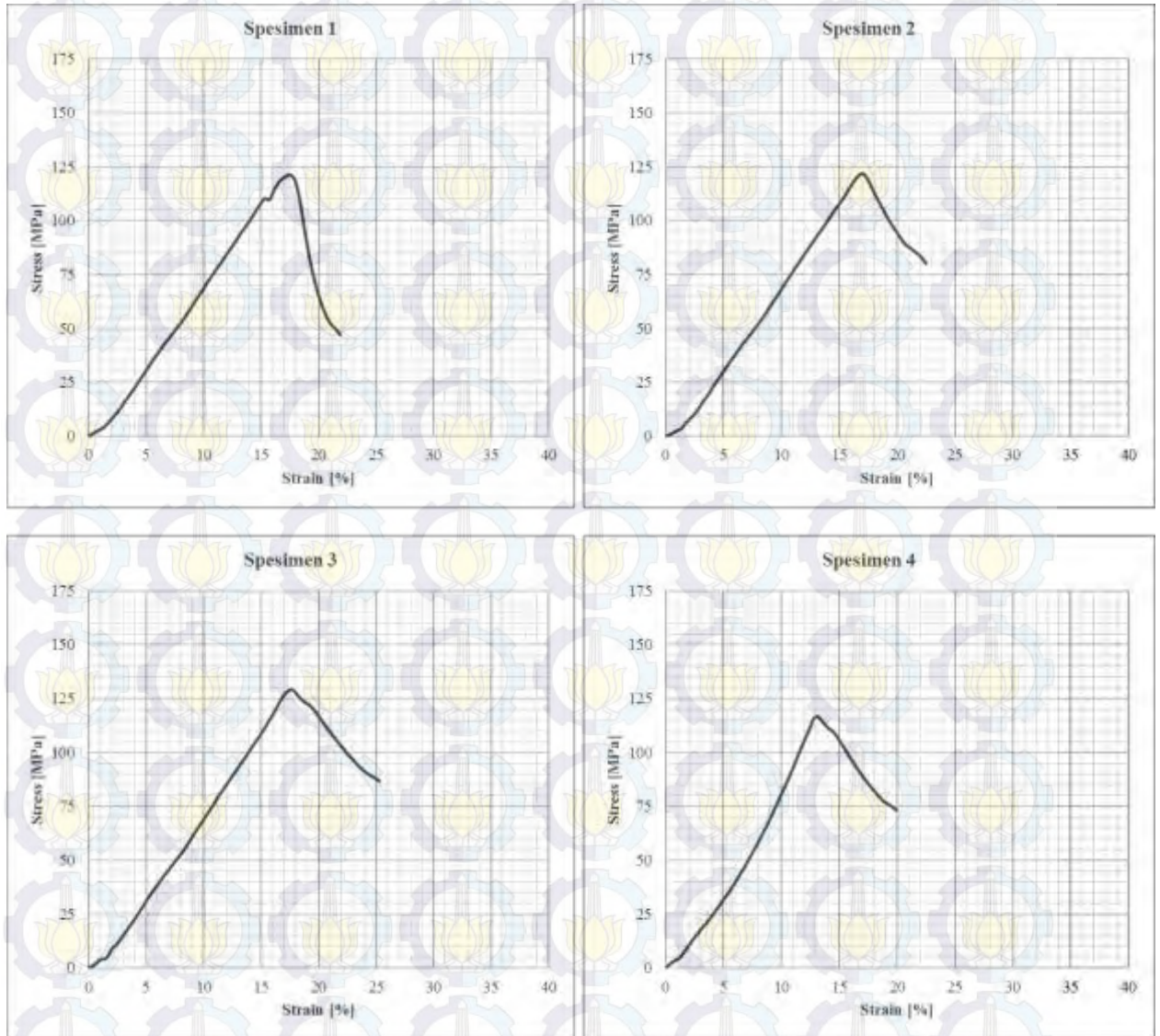
Hasil Uji Tarik Variasi Minyak Pelumas pada Suhu 50 °C (12 jam)



Spesimen	P _{maks} [N]	A [mm ²]	Strain [%]	Stress [MPa]	MoE [GPa]
1	21807.180	195.000	20.156	111.832	5.548
2	23258.500	195.000	25.000	119.274	4.771
3	23377.760	195.000	28.594	119.886	4.193
4	21210.080	195.000	19.844	108.770	5.481
Rataan	22413.380	195.000	23.398	114.940	4.998

LAMPIRAN 8

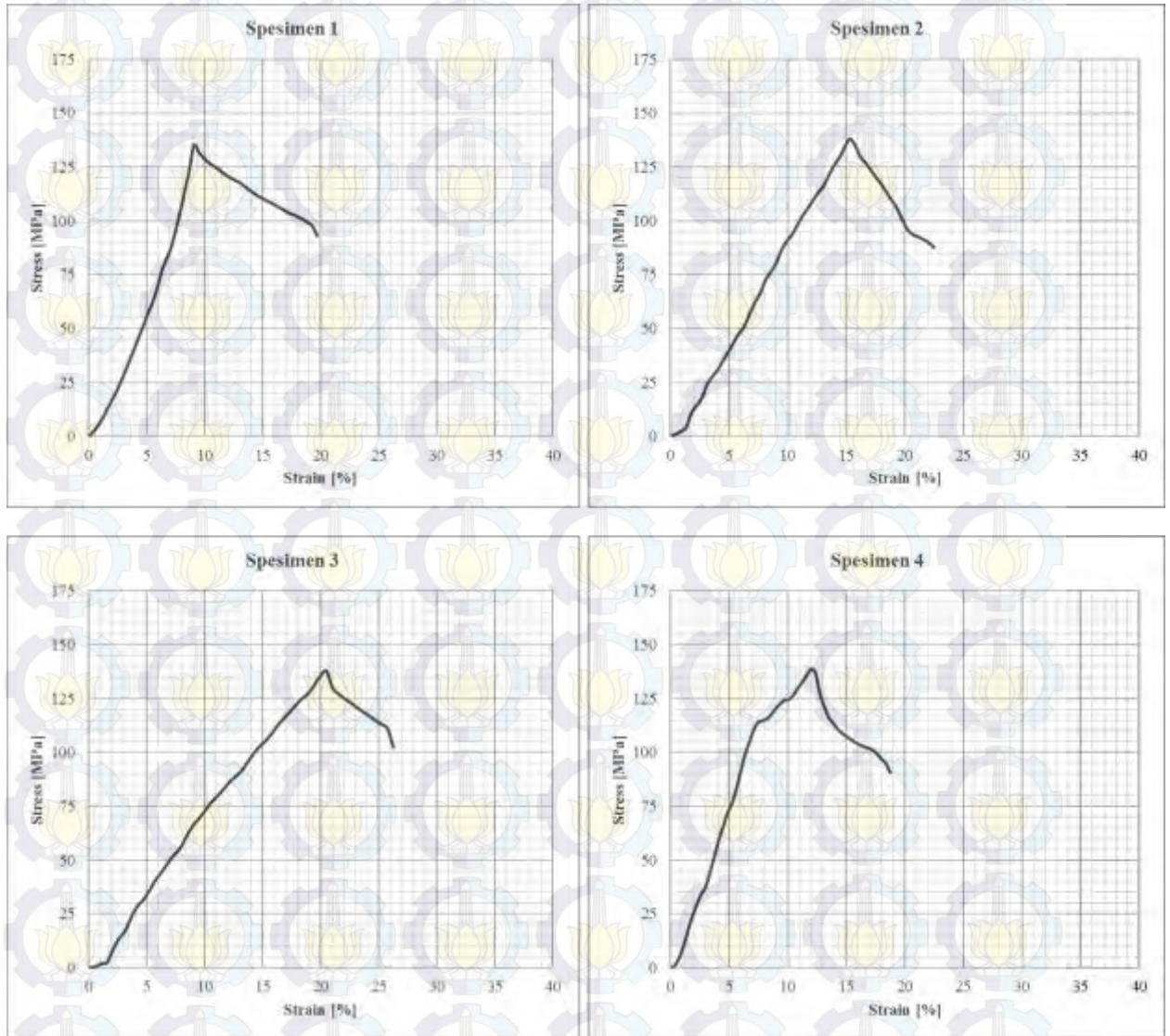
Hasil Uji Tarik Variasi Minyak Pelumas pada Suhu 50 °C (24 jam)



Spesimen	P_{maks} [N]	A [mm ²]	Strain [%]	Stress [MPa]	MoE [GPa]
1	23636.880	195.000	21.875	121.215	5.541
2	23721.700	195.000	22.500	121.650	5.407
3	25173.200	195.000	25.313	129.093	5.100
4	22703.640	195.000	20.000	116.429	5.821
Rataan	23808.855	195.000	22.422	122.097	5.467

LAMPIRAN 9

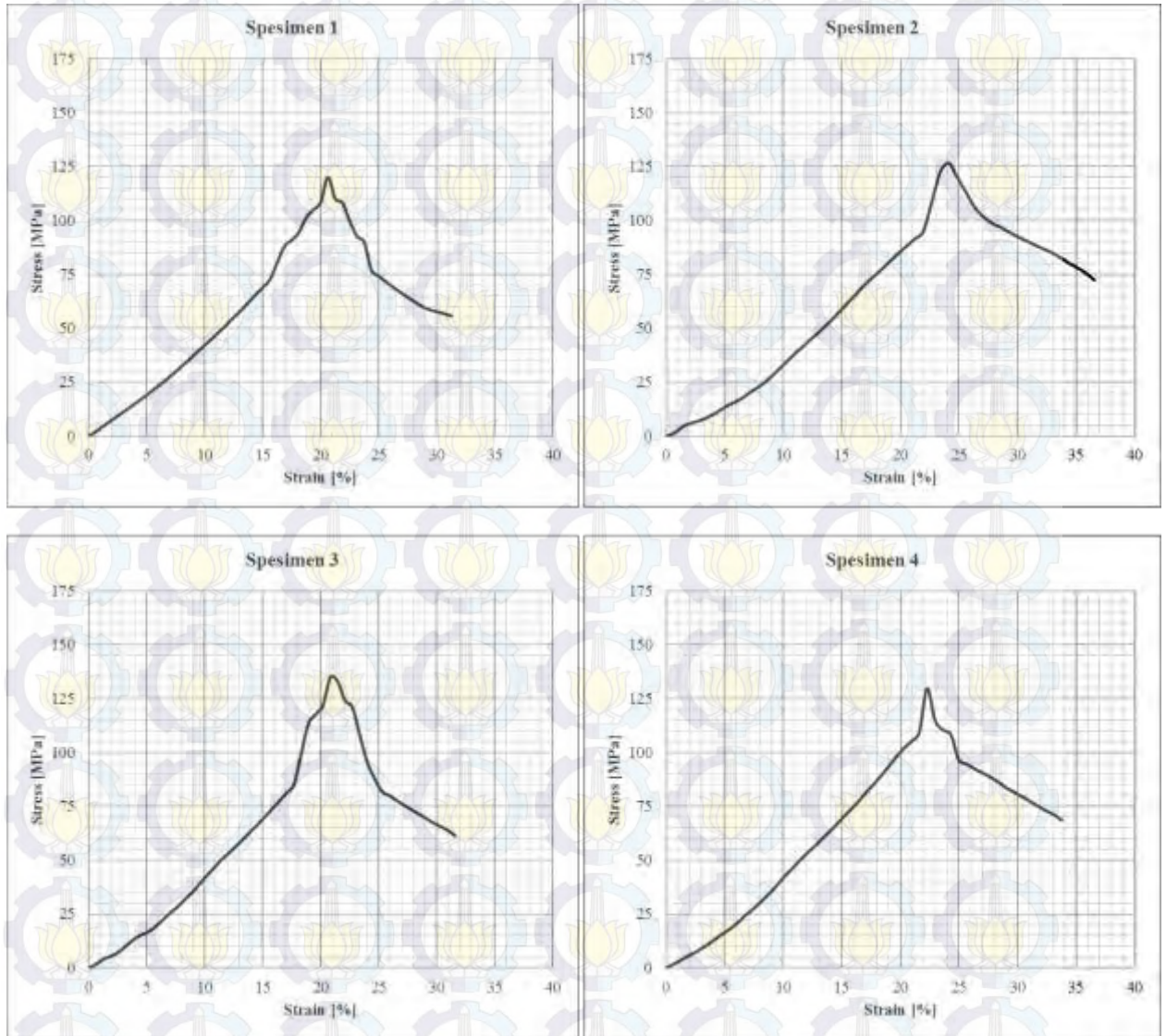
Hasil Uji Tarik Variasi Minyak Pelumas pada Suhu 50 °C (48 jam)



Spesimen	P _{maks} [N]	A [mm ²]	Strain [%]	Stress [MPa]	MoE [GPa]
1	26368.060	195.000	19.688	135.221	6.868
2	26920.040	195.000	22.500	138.051	6.136
3	26861.860	195.000	26.250	137.753	5.248
4	27041.240	195.000	18.750	138.673	7.396
Rataan	26797.800	195.000	21.797	137.425	6.412

LAMPIRAN 10

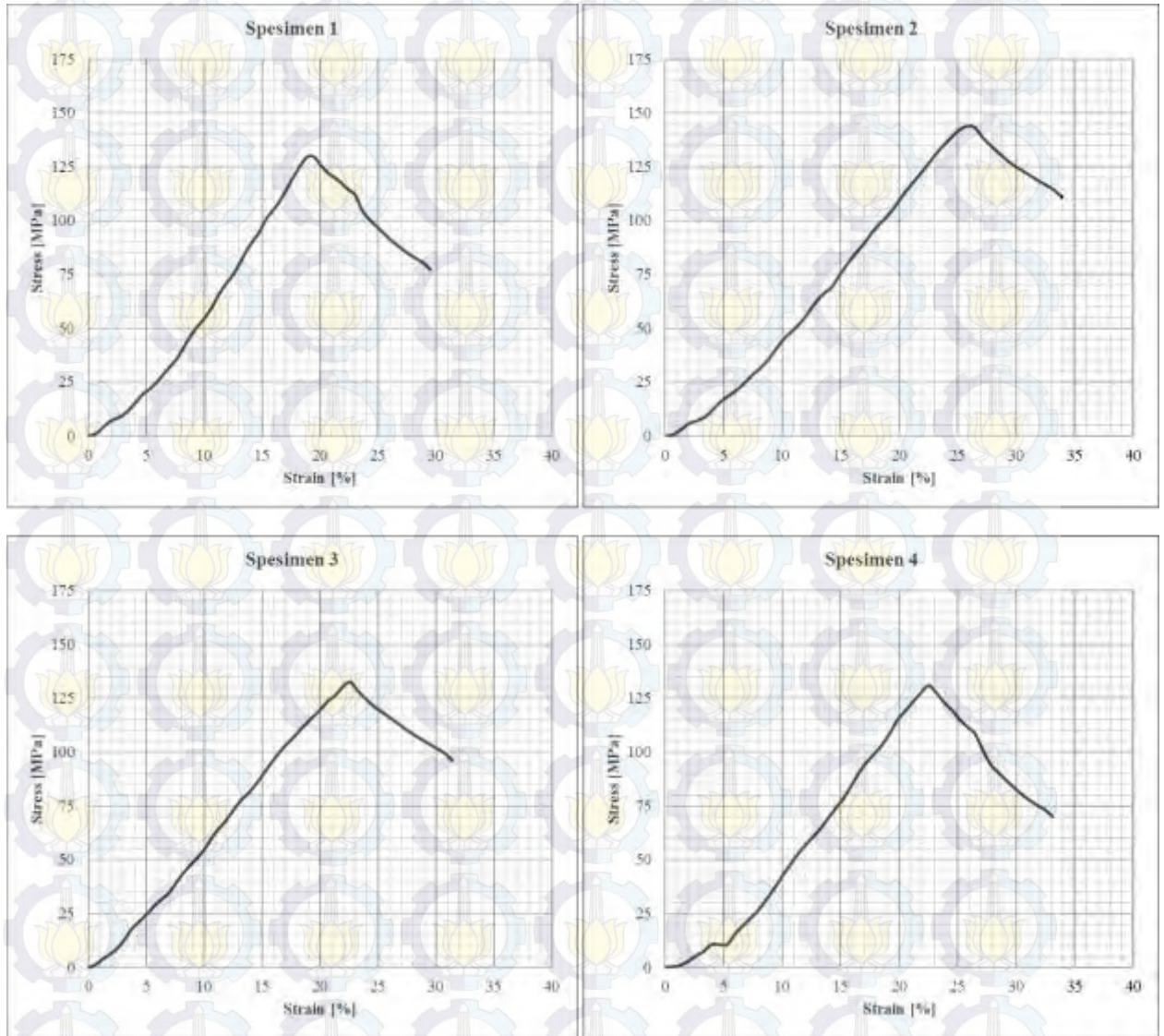
Hasil Uji Tarik Variasi Minyak Pelumas pada Suhu 100 °C (12 jam)



Spesimen	P_{maks} [N]	A [mm ²]	Strain [%]	Stress [MPa]	MoE [GPa]
1	23402.700	195.000	31.250	120.014	3.840
2	24695.360	195.000	36.563	126.643	3.464
3	26308.880	195.000	31.563	134.917	4.275
4	25299.460	195.000	33.750	129.741	3.844
Rataan	24926.600	195.000	33.281	127.829	3.856

LAMPIRAN 11

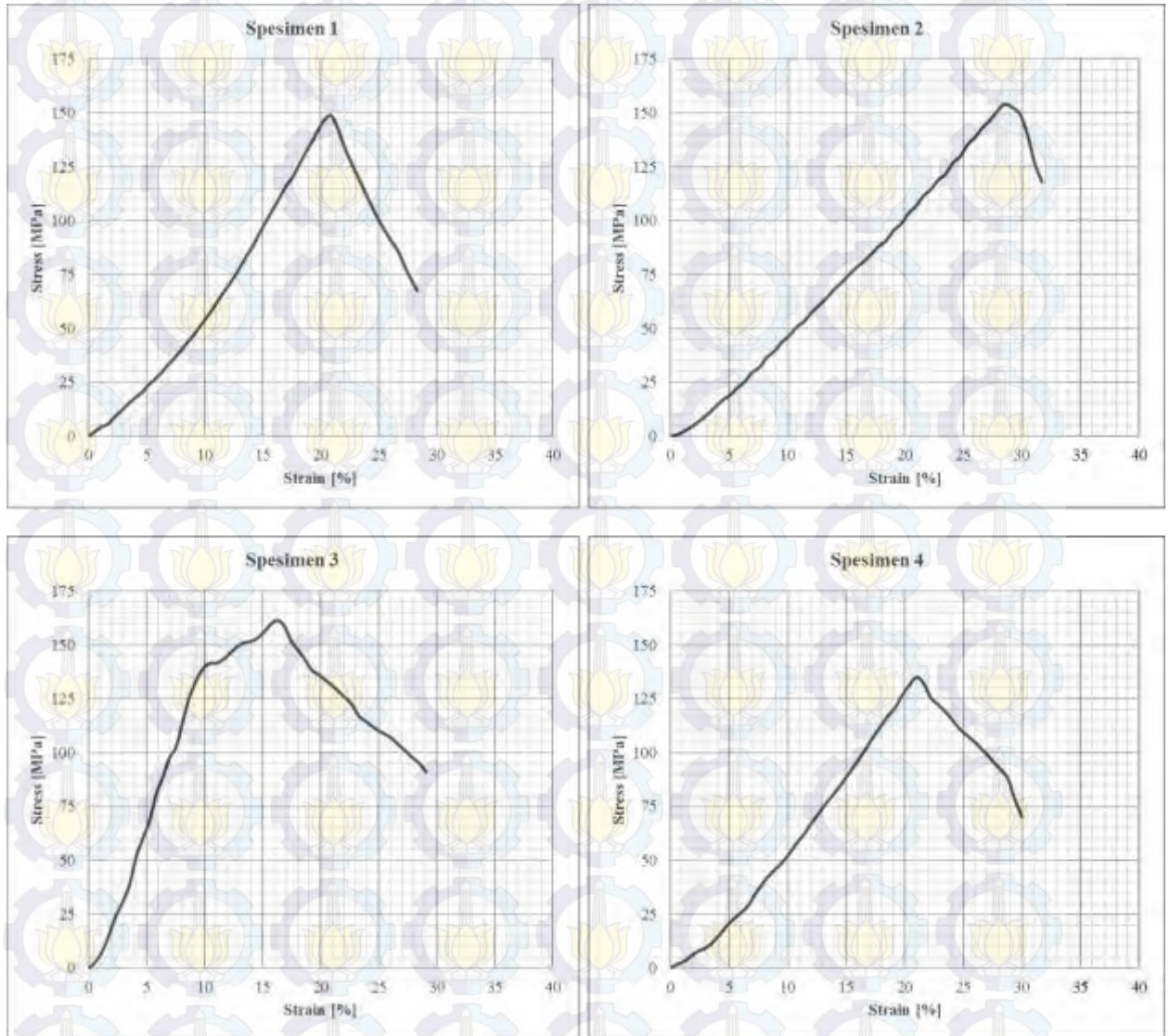
Hasil Uji Tarik Variasi Minyak Pelumas pada Suhu 100 °C (24 jam)



Spesimen	P _{maks} [N]	A [mm ²]	Strain [%]	Stress [MPa]	MoE [GPa]
1	25286.760	195.000	29.531	129.676	4.391
2	28038.360	195.000	33.906	143.786	4.241
3	25831.560	195.000	31.406	132.470	4.218
4	25523.040	195.000	33.125	130.887	3.951
Rataan	26169.930	195.000	31.992	134.205	4.200

LAMPIRAN 12

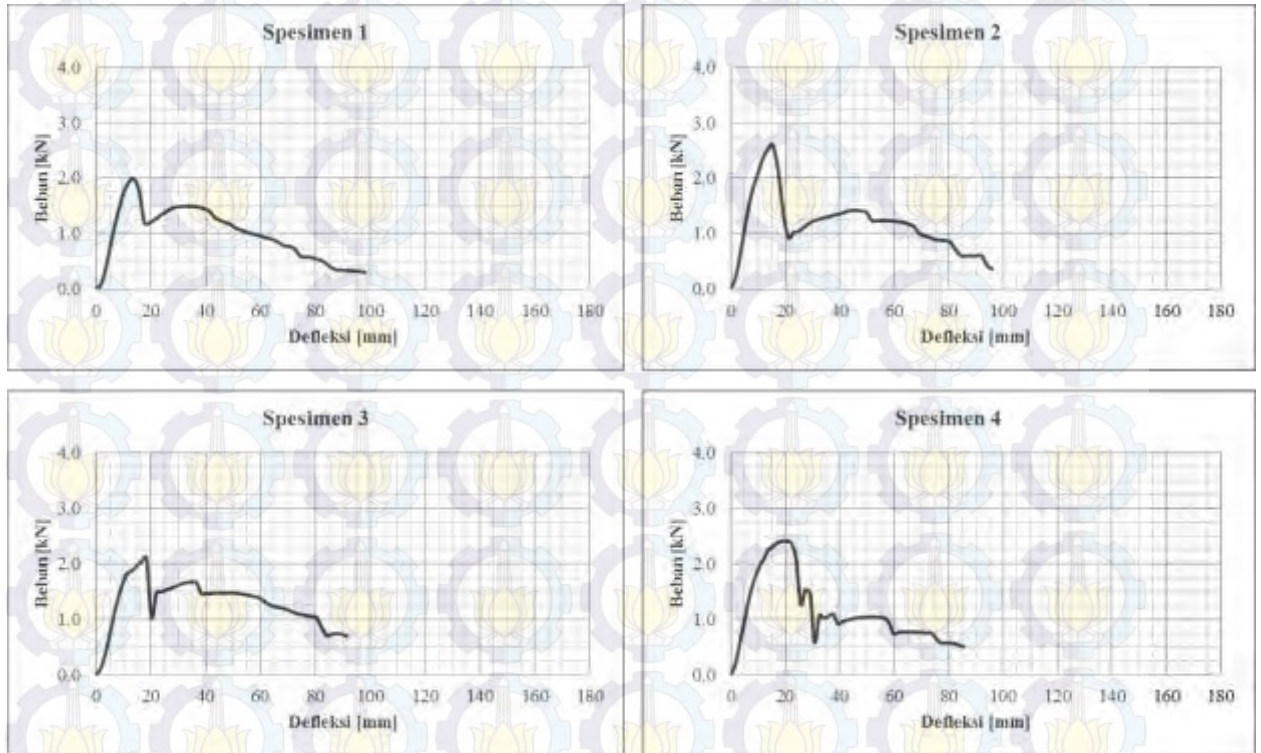
Hasil Uji Tarik Variasi Minyak Pelumas pada Suhu 100 °C (48 jam)



Spesimen	P _{maks} [N]	A [mm ²]	Strain [%]	Stress [MPa]	MoE [GPa]
1	28964.440	195.000	28.281	148.536	5.252
2	30044.680	195.000	31.719	154.075	4.858
3	31463.380	195.000	29.063	161.351	5.552
4	26330.300	195.000	30.000	135.027	4.501
Rataan	29200.700	195.000	29.766	149.747	5.041

LAMPIRAN 13

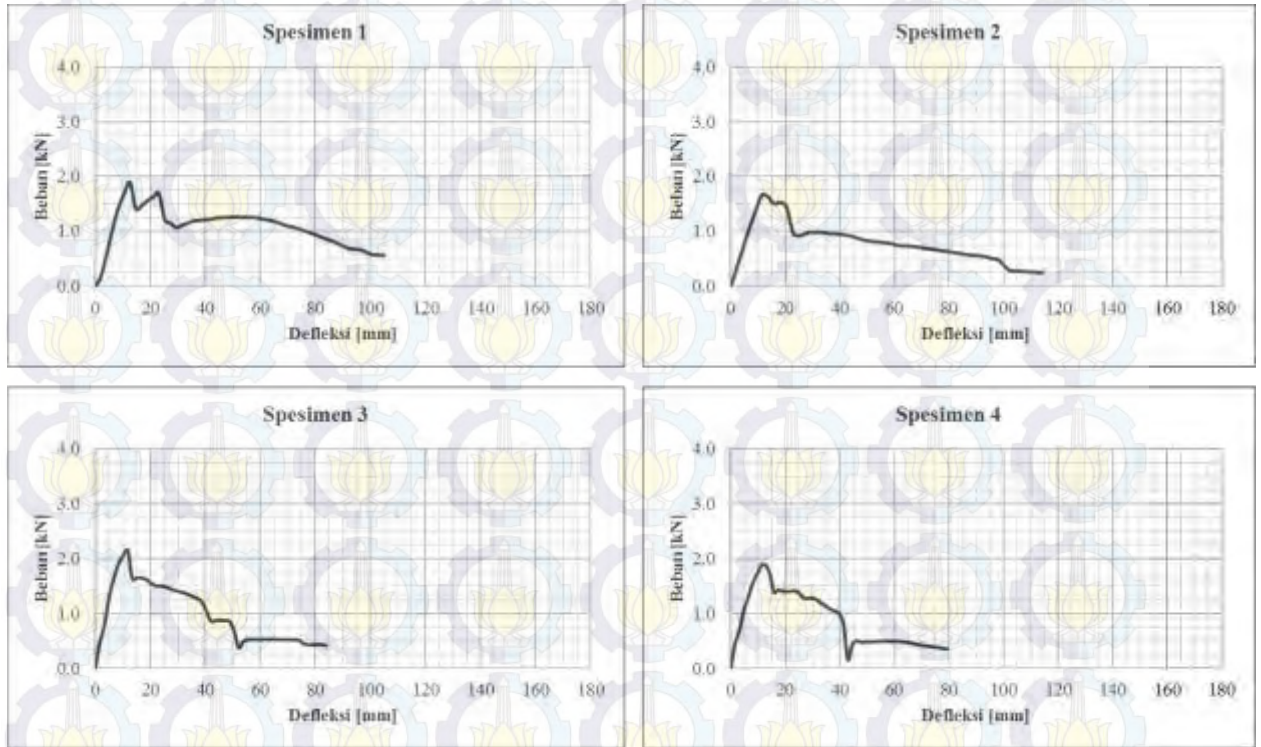
Hasil Uji Tekuk Variasi Bahan Bakar pada Suhu Ruang (12 jam)



Spesimen	P [kN]	Defleksi [mm]	MoR [MPa]	MoE [GPa]
1	1.991	98.000	86.010	2.951
2	2.596	96.000	112.131	3.928
3	2.119	91.500	91.523	3.364
4	2.412	85.500	104.217	4.099
Rataan	2.279	92.750	98.470	3.585

LAMPIRAN 14

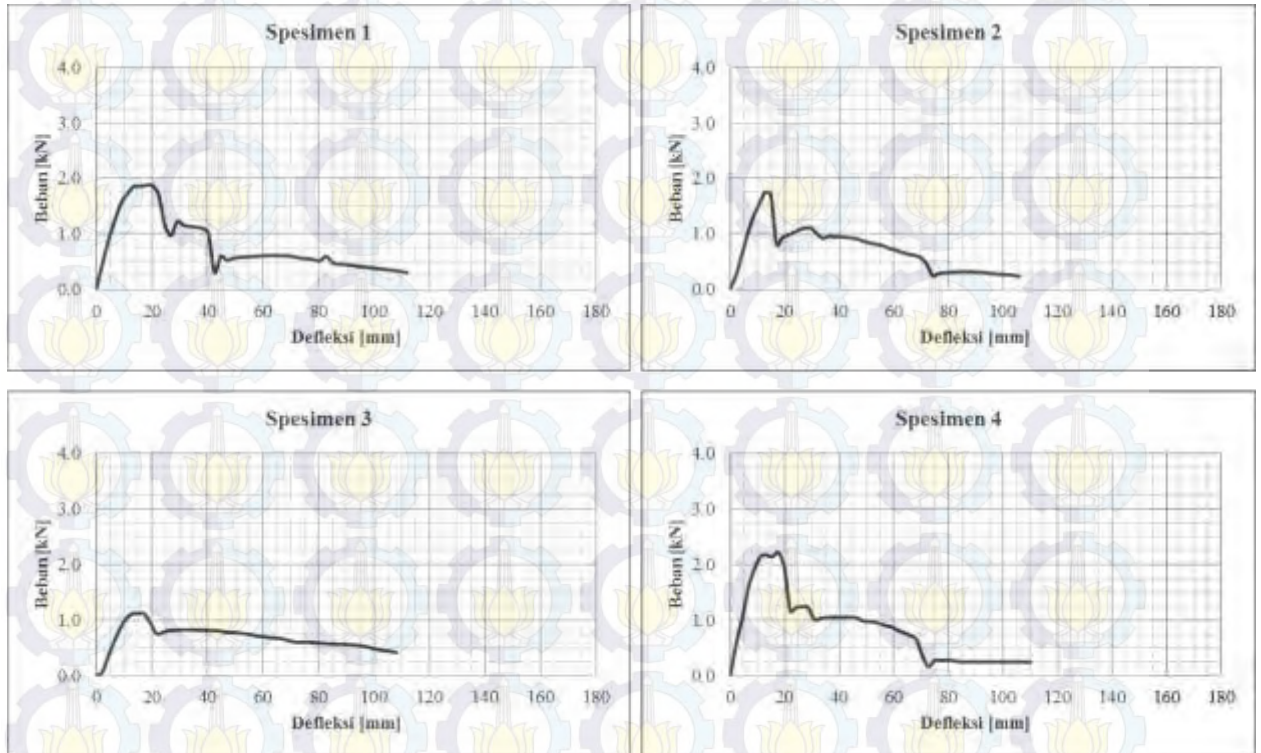
Hasil Uji Tekuk Variasi Bahan Bakar pada Suhu Ruang (24 jam)



Spesimen	P [kN]	Defleksi [mm]	MoR [MPa]	MoE [GPa]
1	1.896	105.000	81.922	2.624
2	1.662	114.000	71.800	2.118
3	2.149	84.000	92.838	3.716
4	1.888	79.500	81.573	3.450
Rataan	1.899	95.625	82.033	2.977

LAMPIRAN 15

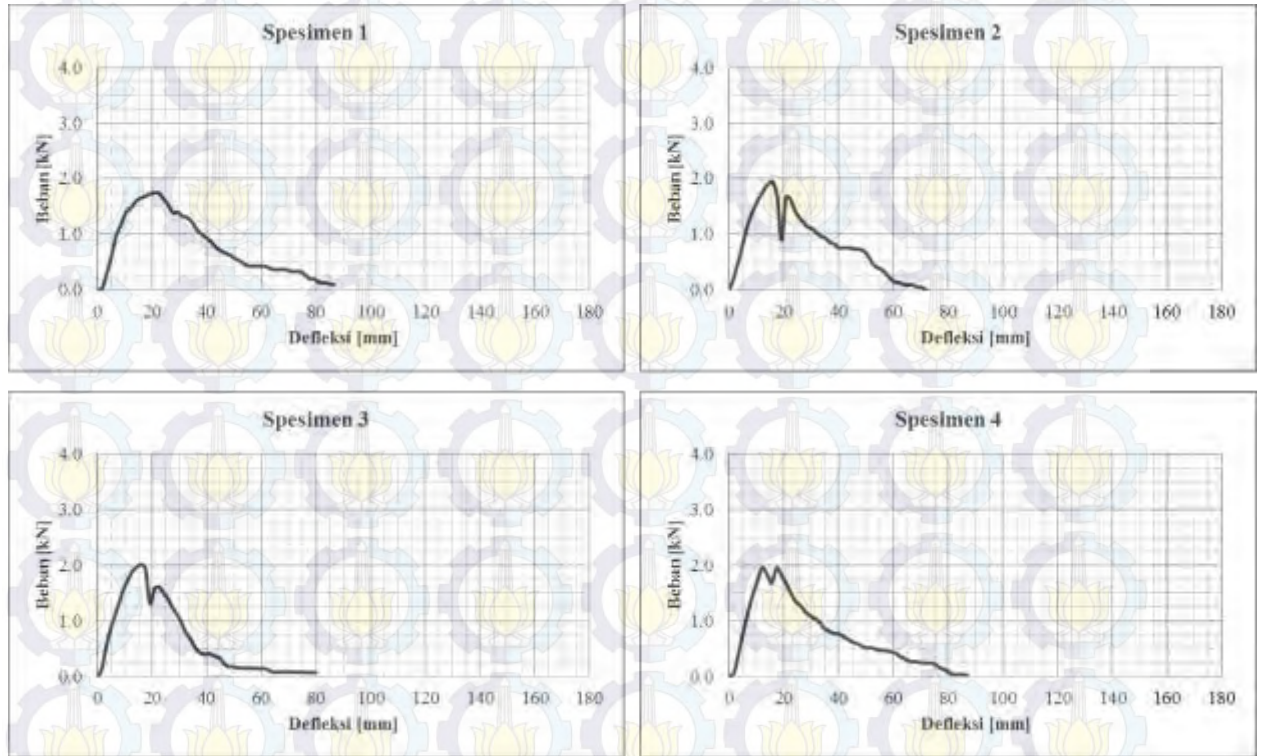
Hasil Uji Tekuk Variasi Bahan Bakar pada Suhu Ruang (48 jam)



Spesimen	P [kN]	Defleksi [mm]	MoR [MPa]	MoE [GPa]
1	1.873	112.000	80.930	2.430
2	1.745	106.000	75.369	2.391
3	1.118	108.000	48.315	1.504
4	2.217	110.000	95.760	2.927
Rataan	1.738	109.000	75.093	2.313

LAMPIRAN 16

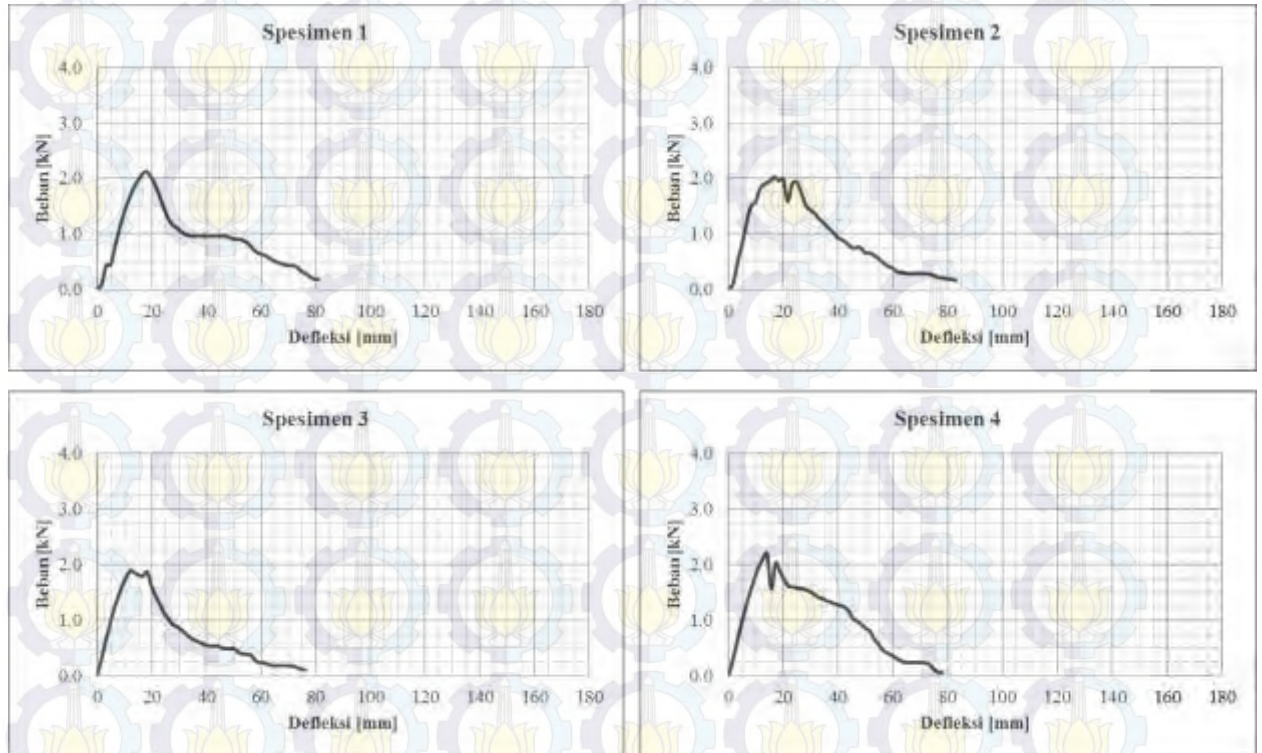
Hasil Uji Tekuk Variasi Minyak Pelumas pada Suhu Ruang (12 jam)



Spesimen	P [kN]	Defleksi [mm]	MoR [MPa]	MoE [GPa]
1	1.739	86.500	75.131	2.921
2	1.940	80.000	83.811	3.523
3	2.017	80.000	87.113	3.662
4	1.960	87.000	84.673	3.273
Rataan	1.914	83.375	82.682	3.344

LAMPIRAN 17

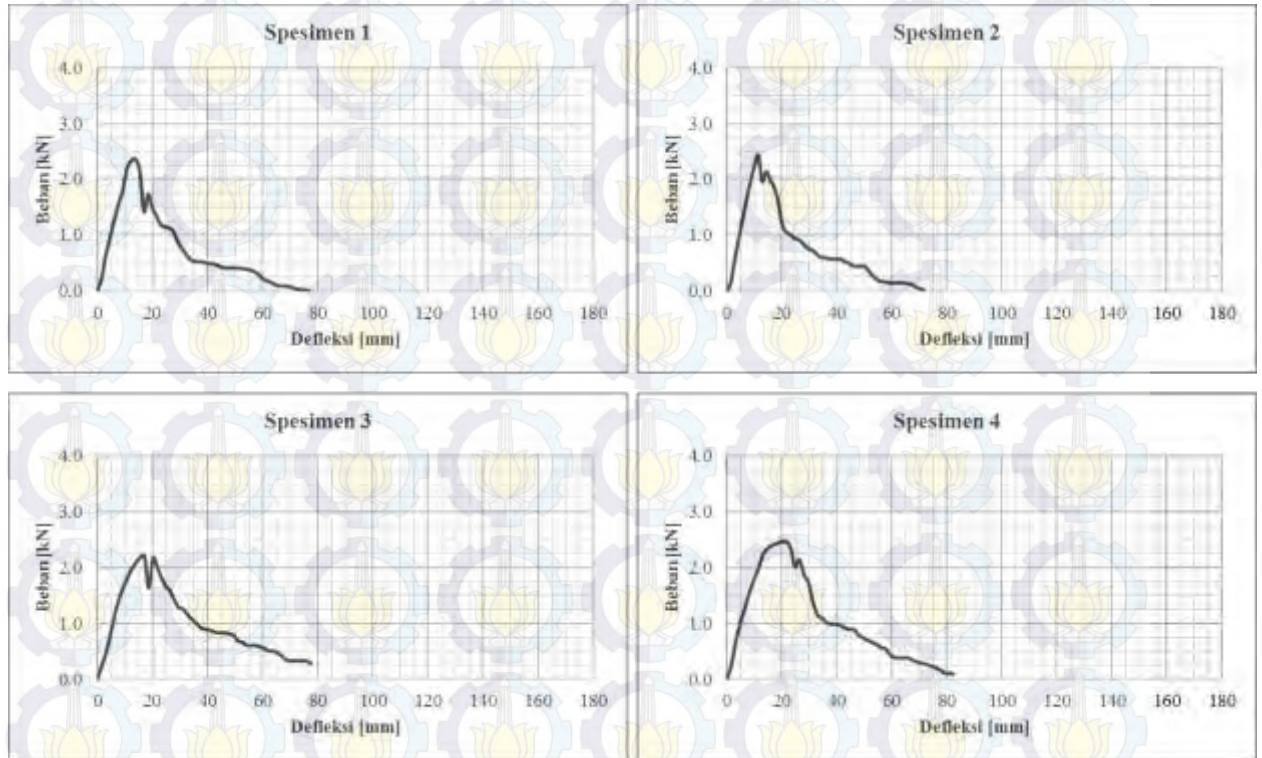
Hasil Uji Tekuk Variasi Minyak Pelumas pada Suhu Ruang (24 jam)



Spesimen	P [kN]	Defleksi [mm]	MoR [MPa]	MoE [GPa]
1	2.129	81.000	91.962	3.818
2	2.024	83.000	87.451	3.543
3	1.888	76.000	81.580	3.610
4	2.194	78.000	94.801	4.087
Rataan	2.059	79.500	88.948	3.764

LAMPIRAN 18

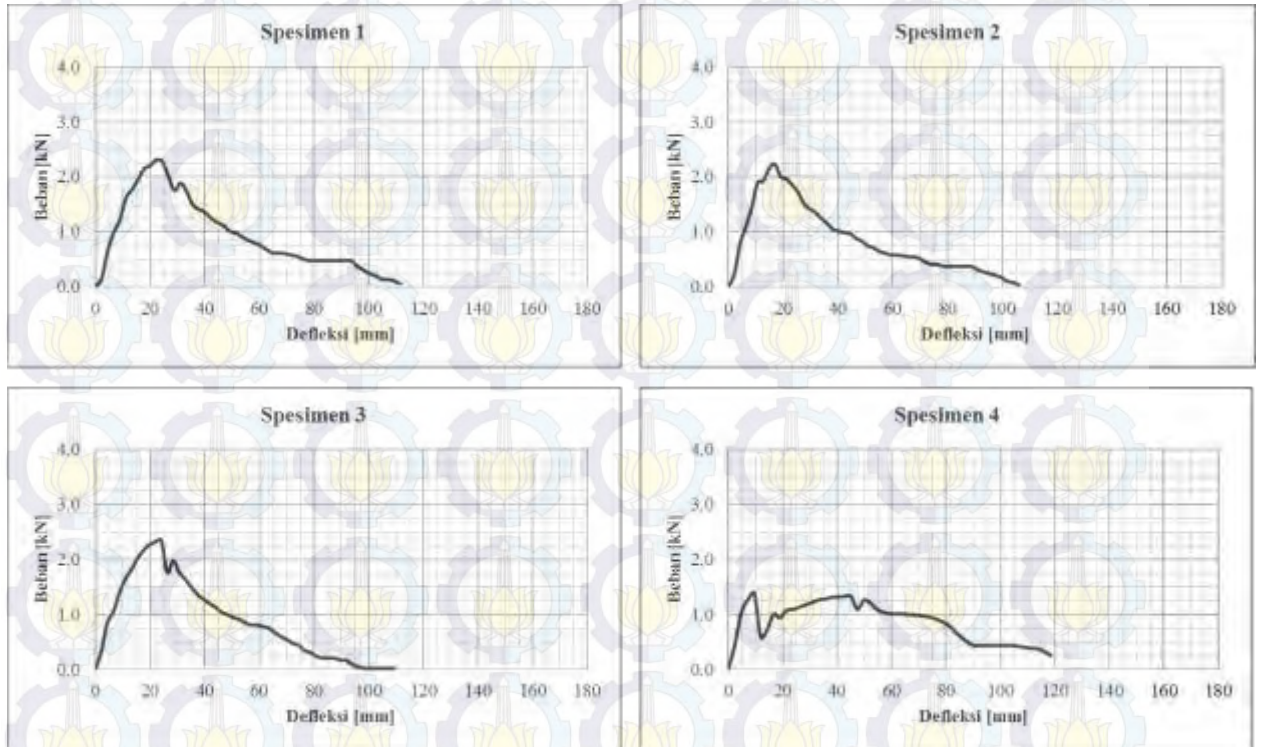
Hasil Uji Tekuk Variasi Minyak Pelumas pada Suhu Ruang (48 jam)



Spesimen	P [kN]	Defleksi [mm]	MoR [MPa]	MoE [GPa]
1	2.363	76.500	102.089	4.487
2	2.429	71.500	104.938	4.935
3	2.216	77.500	95.723	4.153
4	2.464	82.500	106.442	4.339
Rataan	2.368	77.000	102.298	4.479

LAMPIRAN 19

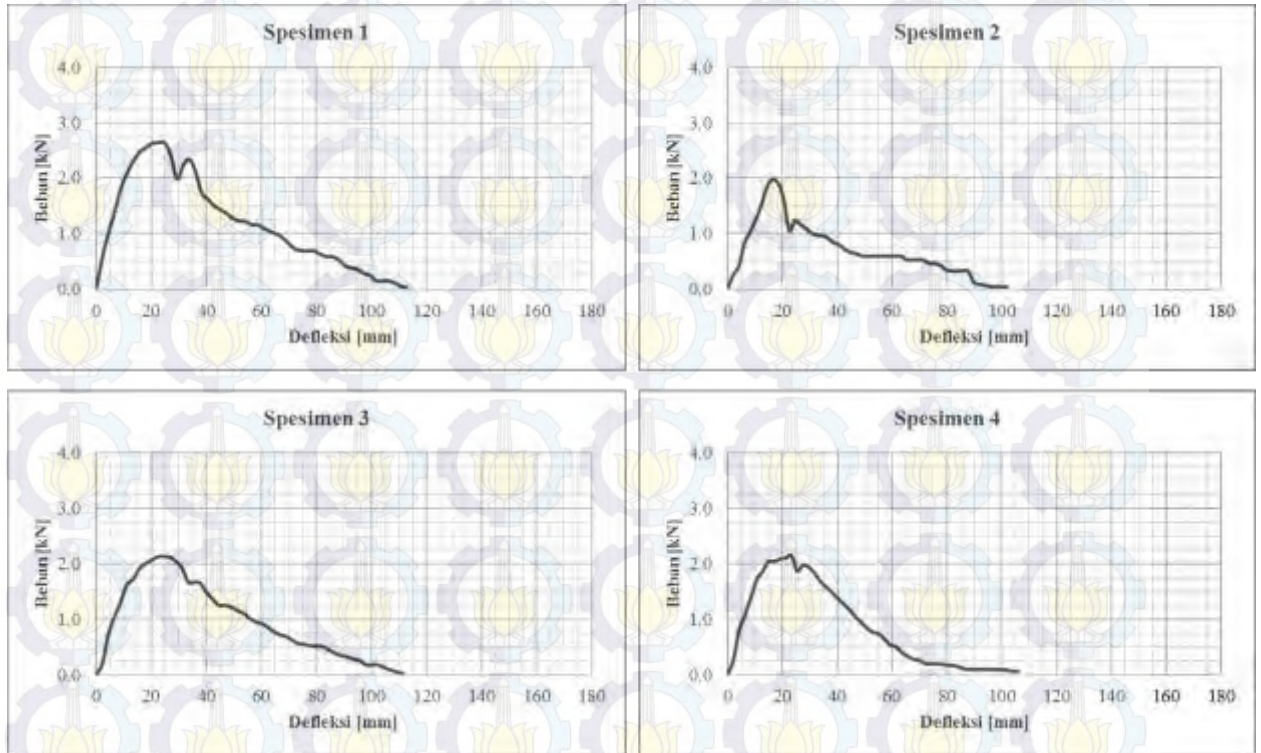
Hasil Uji Tekuk Variasi Minyak Pelumas pada Suhu 50 °C (12 jam)



Spesimen	P [kN]	Defleksi [mm]	MoR [MPa]	MoE [GPa]
1	2.307	111.500	99.668	3.006
2	2.224	106.000	96.062	3.047
3	2.344	109.500	101.250	3.109
4	1.382	118.500	59.698	1.694
Rataan	2.064	111.375	89.169	2.714

LAMPIRAN 20

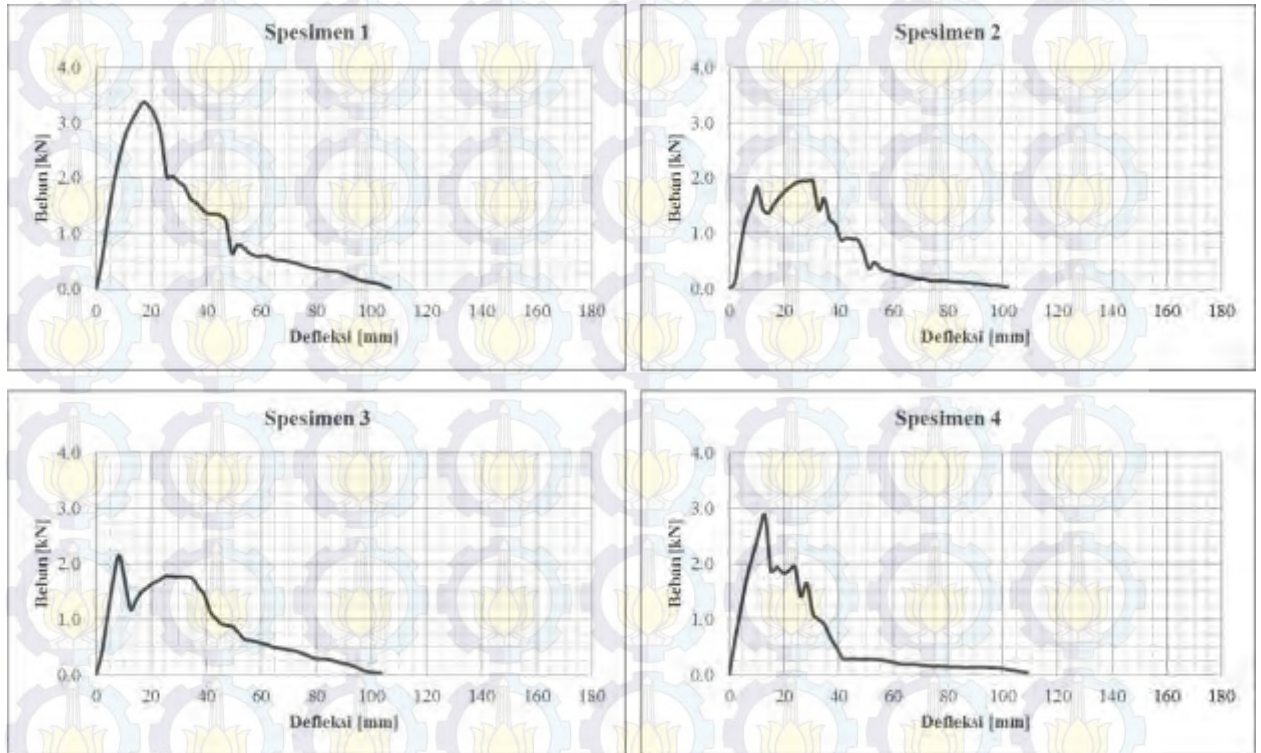
Hasil Uji Tekuk Variasi Minyak Pelumas pada Suhu 50 °C (24 jam)



Spesimen	P [kN]	Defleksi [mm]	MoR [MPa]	MoE [GPa]
1	2.642	113.000	114.134	3.396
2	1.976	102.000	85.357	2.814
3	2.135	111.500	92.221	2.781
4	2.145	106.000	92.675	2.940
Rataan	2.224	108.125	96.097	2.983

LAMPIRAN 21

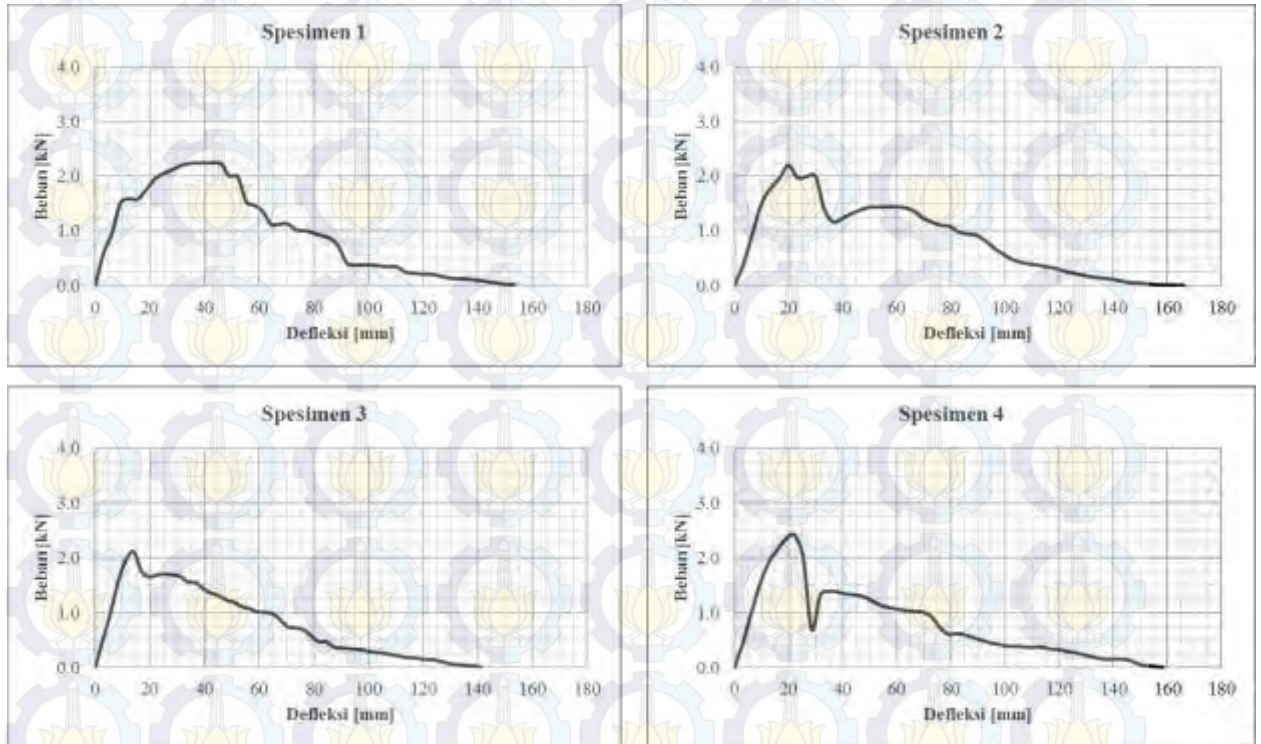
Hasil Uji Tekuk Variasi Minyak Pelumas pada Suhu 50 °C (48 jam)



Spesimen	P [kN]	Defleksi [mm]	MoR [MPa]	MoE [GPa]
1	3.375	107.000	145.782	4.581
2	1.950	102.000	84.234	2.777
3	2.158	103.500	93.204	3.028
4	2.874	109.000	124.154	3.830
Rataan	2.589	105.375	111.844	3.554

LAMPIRAN 22

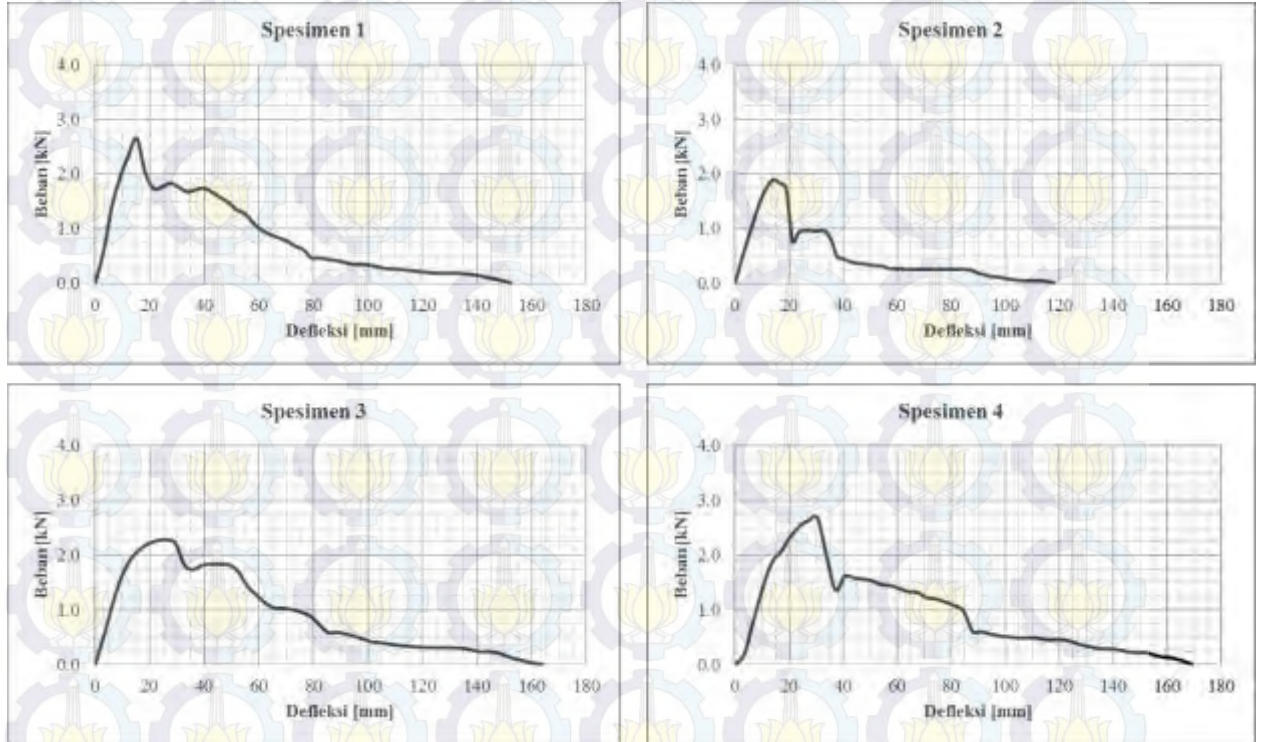
Hasil Uji Tekuk Variasi Minyak Pelumas pada Suhu 100 °C (12 jam)



Spesimen	P [kN]	Defleksi [mm]	MoR [MPa]	MoE [GPa]
1	2.245	153.500	96.980	2.125
2	2.201	166.000	95.081	1.926
3	2.114	141.000	91.313	2.178
4	2.418	158.500	104.464	2.216
Rataan	2.244	154.750	96.959	2.111

LAMPIRAN 23

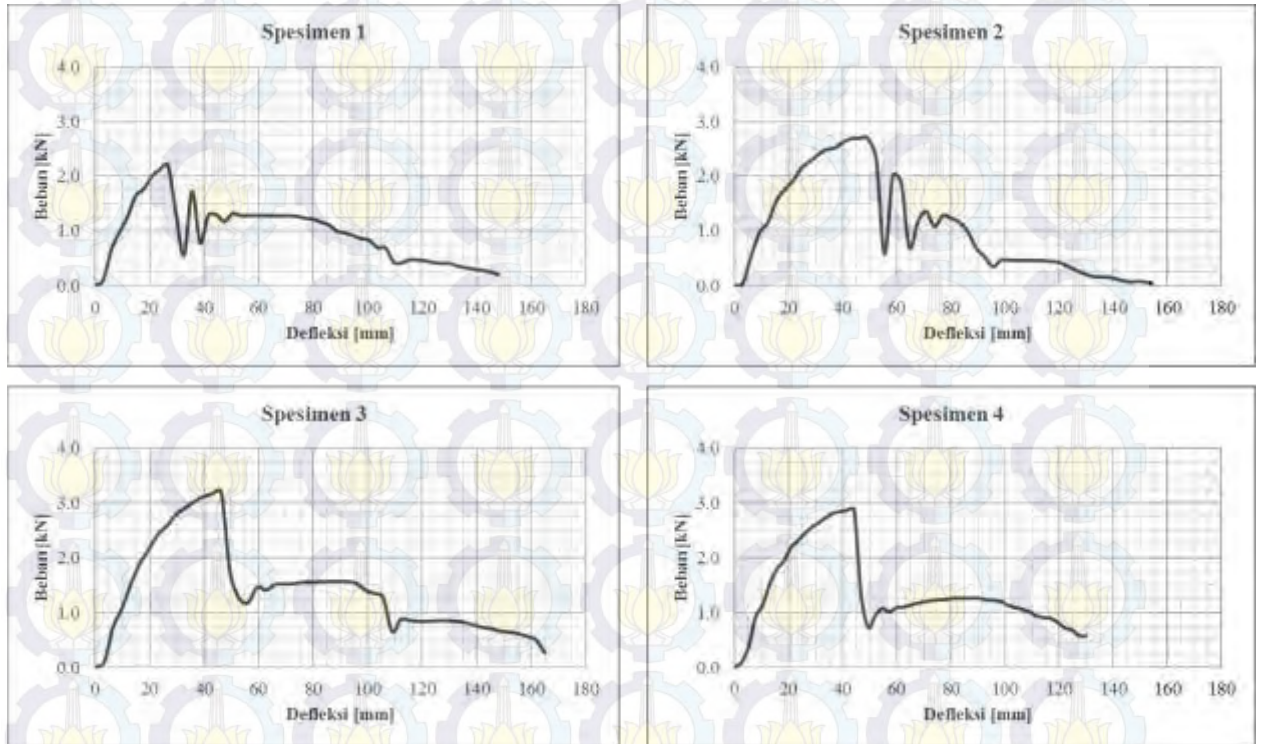
Hasil Uji Tekuk Variasi Minyak Pelumas pada Suhu 100 °C (24 jam)



Spesimen	P [kN]	Defleksi [mm]	MoR [MPa]	MoE [GPa]
1	2.655	152.500	114.712	2.529
2	1.899	118.000	82.039	2.338
3	2.281	164.000	98.534	2.020
4	2.691	169.000	116.235	2.313
Rataan	2.381	150.875	102.880	2.300

LAMPIRAN 24

Hasil Uji Tekuk Variasi Minyak Pelumas pada Suhu 100 °C (48 jam)



Spesimen	P [kN]	Defleksi [mm]	MoR [MPa]	MoE [GPa]
1	2.204	148.000	95.230	2.164
2	2.693	154.000	116.321	2.540
3	3.207	165.000	138.561	2.824
4	2.879	130.000	124.379	3.217
Rataan	2.746	149.250	118.623	2.686

LAMPIRAN 25

Rekapitulasi Hasil Uji Tarik

1. Variasi Bahan Bakar

Waktu [jam]	P _{maks} [N]	A [mm ²]	Strain [%]	Stress [MPa]	MoE [GPa]
12	23608.690	195	19.375	121.070	6.269
24	20631.450	195	20.430	105.802	5.217
48	19092.335	195	23.281	97.909	4.202

2. Variasi Minyak Pelumas

Suhu [°C]	Waktu [jam]	P _{maks} [N]	A [mm ²]	Strain [%]	Stress [MPa]	MoE [GPa]
30	12	20764.660	195	18.047	106.485	5.894
	24	21736.085	195	17.148	111.467	6.558
	48	23585.715	195	15.703	120.952	7.700
50	12	22413.380	195	23.398	114.940	4.998
	24	23808.855	195	22.422	122.097	5.467
	48	26797.800	195	21.797	137.425	6.412
100	12	24926.600	195	33.281	127.829	3.856
	24	26169.930	195	31.992	134.205	4.200
	48	29200.700	195	29.766	149.747	5.041

LAMPIRAN 26

Rekapitulasi Hasil Uji Tekuk

1. Variasi Bahan Bakar

Waktu [jam]	P [kN]	Defleksi [mm]	MoR [MPa]	MoE [GPa]
12	2.279	92.750	98.470	3.585
24	1.899	95.625	82.033	2.977
48	1.738	109.000	75.093	2.313

2. Variasi Minyak Pelumas

Suhu [°C]	Waktu [jam]	P _{maks} [kN]	Defleksi [mm]	MoR [MPa]	MoE [GPa]
30	12	2.059	83.375	82.682	3.344
	24	1.914	79.500	88.948	3.764
	48	2.368	77.000	102.298	4.479
50	12	2.224	111.375	89.169	2.714
	24	2.064	108.125	96.097	2.983
	48	2.589	105.375	111.844	3.554
100	12	2.381	154.750	96.959	2.111
	24	2.244	150.875	102.880	2.300
	48	2.746	149.250	118.623	2.686

LAMPIRAN 27

Standar ASTM D3500



Designation: D 3500 – 90 (Reapproved 2003)

Standard Test Methods for Structural Panels in Tension¹

This standard is issued under the fixed designation D 3500; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 These test methods cover the determination of the tensile properties of structural panels.

1.2 Structural panels in use include plywood, waterboard, oriented strand board and composites of veneer and other wood-based layers.

1.3 Test Method A, Tensile Test for Small Specimens

1.3.1 This test method employs small specimens that should have a reduced cross section at the center of their length to avoid failure in the grip area. The transition from full width of specimen to reduced section at the center should be gradual to minimize stress concentration.

1.3.2 When the measurements of elastic properties are to be made, the length of the reduced cross section at the center should be of sufficient length to accommodate an extensometer.

1.4 Test Method B, Tensile Test for Large Specimens

1.4.1 This test method employs large specimens and responds well to manufacturing variables, plywood growth characteristics, and other defects influencing the tensile properties of structural panels.

1.4.2 The test specimens are large enough to contain the maximum sized defects found in plywood panels. The test specimens have a constant cross section since the size and location of defects control the location of failures and the effect of stress concentration at the grips is overshadowed.

1.4.3 This test method is recommended for the following:

1.4.3.1 Comparative tests of structural panels,

1.4.3.2 Determining the influence of any specific strength reducing defects on the tensile properties of structural panels,

1.4.3.3 Determination of tensile properties of plywood and composites containing veneer with growth and manufacturing characteristics.

1.5 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards

D 2395 Test Methods for Specific Gravity of Wood and Wood-Base Materials²

D 4442 Test Method for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-Base Materials²

3. Significance and Use

3.1 These test methods determine the tensile properties of structural panels in response to stresses acting in the plane of the panel.

3.2 *Test Method A*—This test method is suited to material that is uniform with respect to tensile properties. It is normally applied to structural panels and plywood of clear, straight-grained veneers. It may also be used to evaluate the strength of scarf and finger joints and other manufacturing process variables that can be expected to influence the tensile properties of structural panels in a uniform manner across the width of the sheet.

3.3 *Test Method B*—This test method employs large test specimens and responds well to all manufacturing variables and growth characteristics that affect the tensile properties of structural panels.

3.4 It is recommended that where comparisons are to be made that the same test method and specimen size be used throughout. This is because the volume of material included in a test specimen can influence the tensile strength regardless of whether the material properties are uniform throughout the sheet or vary widely due to the presence of growth or manufacturing features.

4. Control of Moisture Content

4.1 Structural panel specimens to be tested at specific moisture contents or after reaching equilibrium moisture content at specific temperature and relative humidity conditions shall be conditioned to approximate constant weight in controlled atmospheric conditions. For approximating moisture conditions of structural panels used under dry conditions, a relative humidity of $65 \pm 2\%$ at a temperature of $(68 \pm 6^\circ\text{F})$ ($20 \pm 3^\circ\text{C}$) is recommended.

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D07 on Wood and are the direct responsibility of Subcommittee D07.95 on Panel Products. Current edition approved Oct. 26, 1990. Published December 1990. Originally published as D 3500 – 70. Last previous edition D 3500 – 76 (1986).

² Annual Book of ASTM Standards, Vol. 08.01.

5. Variables Influencing Tensile Properties of Structural Panels

5.1 *Moisture Content*—Moisture content shall be determined in accordance with Test Method D 4442.

5.2 *Specific Gravity*—Determine specific gravity in accordance with Test Methods D 2395. The specimen may be the same as that for moisture content determination but must have volume of at least 1 in.³ (16 cm³) if from small specimens (Test Method A), and at least 3 in.³ (49 cm³) if from large specimens (Test Method B). Specimens containing veneer shall be free of visible knots or voids in any ply.

TEST METHOD A—TENSILE PROPERTIES OF SMALL SPECIMENS

6. Test Specimens

6.1 Specimens may be of Types A, B, or C in Fig. 1.

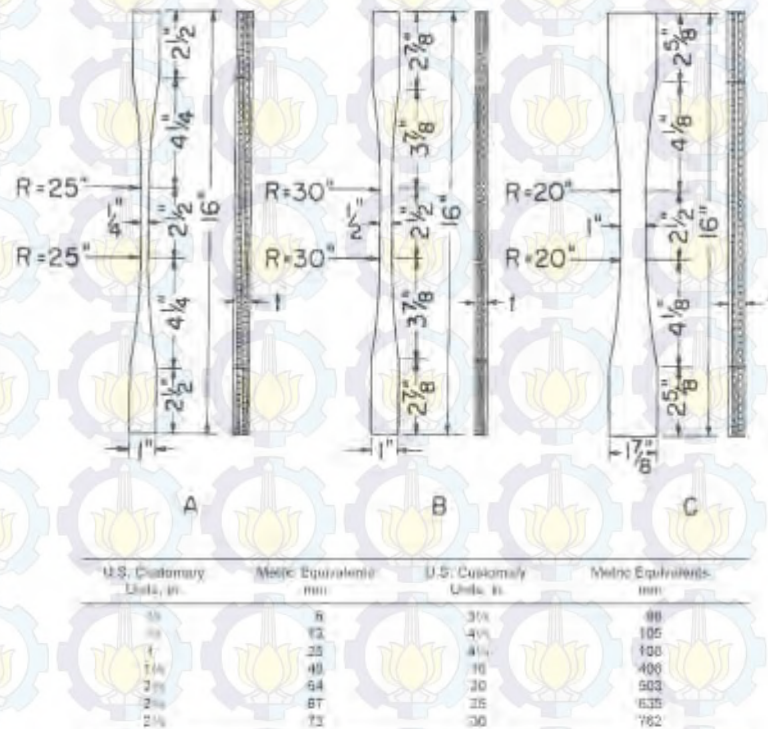
6.1.1 When the evaluation of elastic properties as well as ultimate tensile strength is required, the size and shape of the test specimen shall be selected on the basis of the construction and thickness of the material. For other structural panels, and

plywood or composites with the grain of the individual veneer plies or laminations making grain angles of individual veneer lamina of 0 or 90°, Type A shall be used for material over 1/16 (6 mm) in thickness and Type B for material 1/16 (6 mm) or less in thickness. For plywood with an angle other than 0 or 90° between the length of the specimens and the grain orientation, Type C shall be used regardless of the thickness of the material. The specimens shall have a thickness equal to that of the material. The thickness and the width of each specimen at the critical section shall be measured to an accuracy of not less than ±0.3 % or 0.001 in. (0.02 mm) whichever is larger.

6.1.2 The test specimens shall be properly shaped, using a template in conjunction with a vertical-spindle wood-working shaper or any other method that will give equally satisfactory results.

7. Loading Procedure

7.1 Hold the specimen in wedge-type self-tightening and self-aligning grips. Rate of crosshead motion shall be constant throughout the test such that the specimen breaks within 7 to 10 min after initiation of loading. A crosshead motion rate of



Note 1—A generous radius of curvature at the transition section as provided in this specimen is highly desirable.

FIG. 1 Dimensions and Details of Tension Test Specimens

(0.035 in./min (0.9 mm/min) is usually satisfactory. If failure does not occur within the desired 3 to 10-min time span, adjust the loading rate.

7.2 Measure the elapsed time from initiation of loading to maximum load and record to the nearest $\frac{1}{2}$ min.

8. Load-Deformation Curves

8.1 Take data for load-deformation curves to determine the modulus of elasticity and the proportional limit. Choose increments of load so that not less than 12 and preferably 15 or more readings of load and deformation are taken to the proportional limit. Attach the deformation apparatus at the center of the specimen's length and width. Take deformation readings to the nearest 0.0001 in. (0.002 mm). Fig. 2 and Fig. 3 show 2-in. (51-mm) gage length Tripolitus extensometers that have been found satisfactory for this test.

TEST METHOD B—TENSILE STRENGTH OF LARGE SPECIMENS

9. Apparatus

9.1 Hold the structural panel specimen in grips that apply the required forces to the specimen without influencing load at, or location of, failure. Such devices shall not apply a bending moment to the test section, allow slippage under load, or inflict damage or stress concentrations to the test section. Figs. 4 and 5 illustrate the test set-up and grips.

9.2 *Grip Alignment*—For ideal test conditions, the grips should be self-aligning; that is, they should be attached to the force mechanism of the machine in such a manner that they will move freely into axial alignment as soon as the load is applied and thus apply uniformly distributed forces along and across the test cross section. When self-aligning grips are not available, the specimen may be clamped in the heads of a universal-type testing machine with wedge-type jaws.

9.3 *Contact Surface*—The contact surface between grips and test specimen shall be such that slippage does not occur. It is recommended that 11-in. (279-mm) long gripping area be used (measured parallel to direction of force). Large projections that damage the contact surface of the wood should be avoided. Grips that have been used successfully include diamond floor plate, grips surfaced with coarse emery paper, and methacrylate friction padding.

10. Test Specimens

10.1 Specimens shall be precisely cut with all adjacent edges at right angles. The dimension of the specimen shall be at least 6 in. (152 mm) wide by 48 in. (1219 mm) long. The thickness and width shall be measured to an accuracy of not less than $\pm 0.3\%$ or 0.001 in. (0.02 mm), whichever is larger.

11. Loading Procedure

11.1 Apply the load continuously throughout the test at a uniform rate of moveable crosshead motion that will produce failure of the specimen within a 3 to 10-min time period after initiation of loading. A strain rate of 0.001 in./in. min (0.001 mm/mm min) $\pm 25\%$ has been found to give satisfactory results. This rate corresponds to a crosshead motion of approximately 0.025 in./min (0.625 mm/min) for a test specimen



FIG. 2 Tension Test of Thick Plywood Showing Nonaveraging Type of Extensometer (2-in. Gage Length)

length of 26 in. (660 mm). Widely varying material properties or deformation of loading equipment may cause failure times to fall outside this range, requiring an adjustment of loading rate.

11.2 Measure the elapsed time from initiation of loading to maximum load and record to the nearest $\frac{1}{2}$ min.

12. Load-Deformation Curves

12.1 When deformation measurements are needed for determining elastic properties mount a pair of transducers on the opposite faces of the specimen to minimize the effect of bending. Attach the transducers at the mid length and width of the specimen. It is recommended that the deflection be measured over a gage length of at least 5 in. (127 mm) and



FIG. 3 Tension Test of Plywood with Extensometer Attachment Showing Specimen Used When Load is Applied at an Angle Other than 0 or 90 Deg to the Direction of the Grain of the Plies

deformations measured to the nearest 0.0001 in. (0.002 mm). It is recommended that an X-Y recorder be used to obtain a continuous load-deformation curve. Otherwise choose the

increments of load so that not less than 12 and preferably 15 or more readings of load and deformation are taken to the proportional limit.

REPORT

13. Report

13.1 The structural panel specimen shall be described as to size, species, construction, and adhesive type used in its manufacture, and (where applicable) direction of the face grain or orientation with respect to load direction. The test method shall be identified.

13.2 Data for individual specimens and, where applicable, specimen averages shall include:

- 13.2.1 Thickness.
- 13.2.2 Width.
- 13.2.3 Specific gravity.
- 13.2.4 Moisture content.
- 13.2.5 Elapsed time to failure.
- 13.2.6 Tensile stiffness (cross-sectional area \times modulus of elasticity).
- 13.2.7 Maximum load.
- 13.2.8 Maximum tensile strength.
- 13.2.9 Load-deflection diagrams, and
- 13.2.10 Description of failure.

13.3 It may also be desirable to include additional data that may influence results such as, for plywood, cross-sectional area of parallel and perpendicular plies, thickness of individual plies, and natural and manufacturing features present relating to panel grade or thought to influence test results.

13.4 A description of the test method shall include equipment used to apply loads to the specimen, deformation measuring equipment, and geometry of deformation measured.

14. Precision

14.1 The precision of these test methods has not yet been determined, but when data are available a precision statement will be included.

15. Keywords

15.1 panels; structural panels; tensile properties; wood-based

ASTM D 3500 - 90 (2003)

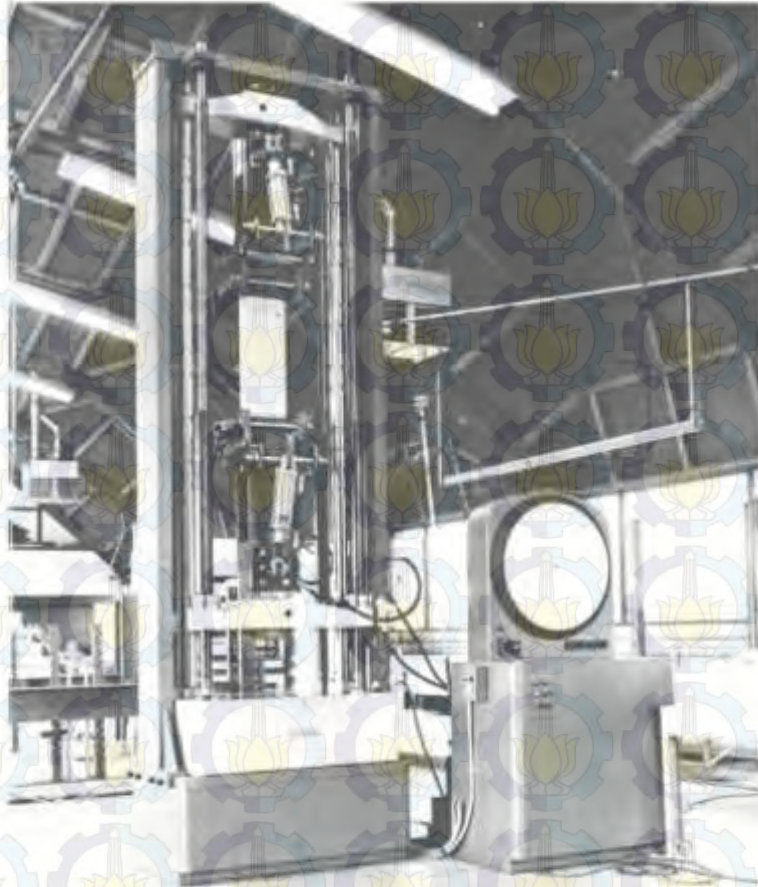


FIG. 4 Test Method B: Tension Test Set-Up

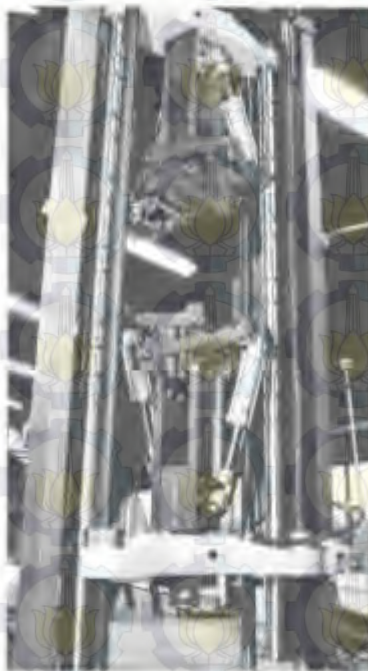


FIG. 5 Grips Suitable for Test Method B Tension Tests

ASTM International takes no position regarding the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and, if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19426-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-632-9555 (phone), 610-632-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail), or through the ASTM website (www.astm.org).

LAMPIRAN 28

Standar ASTM D3043



Designation: D 3043 – 00¹

Standard Test Methods for Structural Panels in Flexure¹

This standard is issued under the fixed designation D 3043; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscripted epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

¹ NOTE—The values in Note 5 for 7/16 in. span were corrected editorially in March 2002.

1. Scope

1.1 These test methods determine the flexural properties of strips cut from structural panels or panels up to 4 by 8 ft in size. Structural panels in use include plywood, waferboard, oriented strand board, and composites of veneer and of wood-based layers. Four methods of tests are included:

Method	Spectrum
Method A—Center Point Flexure Test	3
Method B—Two-Point Flexure Test	6
Method C—Pure Moment Test	7
Method D—Flexure Test for Quality Assurance	5

The choice of method will be dictated by the purpose of the test, type of material, and equipment availability. All methods are applicable to material that is relative uniform in strength and stiffness properties. Only Method C should be used to test material suspected of having strength or stiffness variations within a panel caused by density variations, knots, knot-holes, areas of distorted grain, fungal attack, or wide growth variations. However, Method B may be used to evaluate certain features such as core gaps and veneer joints in plywood panels where effects are readily projected to full panels. Method C generally is preferred where size of test material permits. Moments applied to fail specimens tested by Method A, B or D in which large deflections occur can be considerably larger than nominal. An approximate correction can be made.

1.2 **Method A—Center Point Flexure Test**—This method is applicable to material that is uniform with respect to elastic and strength properties. Total deflection and modulus of elasticity computed from it include a relatively constant component attributable to shear deformation. It is well suited to investigations of many variables that influence properties uniformly throughout the panel in controlled studies and to test small, defect-free control specimens cut from large panels containing defects tested by the large-specimen method.

1.3 **Method B—Two-Point Flexure Test**—This method, like Method A, is suited to the investigation of factors that influence

strength and elastic properties uniformly throughout the panel, in controlled studies, and to testing small, defect free control specimens cut from large specimens tested by Method C. However, it may be used to determine the effects of finger joints, veneer joints and gaps, and other features which can be placed entirely between the load points and whose effects can be projected readily to full panel width. Deflection and modulus of elasticity obtained from this method are related to flexural stress only and do not contain a shear component. Significant errors in modulus of rupture can occur when nominal moment is used (see Appendix X1).

1.4 **Method C—Pure Moment Test**—This method is ideally suited for evaluating effects of knots, knot-holes, areas of sloping grain, and patches for their effect on standard full-size panels. It is equally well suited for testing uniform or clear material whenever specimen size is adequate. Measured deformation and elastic constants are free of shear deformation effects, and panels can be bent to large deflections without incurring errors from horizontal force components occurring in other methods. Specimen size and span above certain minimums are quite flexible. It is preferred when equipment is available.

1.5 **Method D—Flexure Test for Quality Assurance**—This method, like Method A, is well suited to the investigation of factors that influence bending strength and stiffness properties. Also like Method A, this method uses small specimens in a center-point simple span test configuration. This method uses a span to depth ratio, specimen width, test fixture and test speed that make the method well suited for quality assurance. The method is frequently used for quality assurance testing of oriented strand board.

1.6 All methods can be used to determine modulus of elasticity with sufficient accuracy. Modulus of rupture determined by Methods A, B or D is subject to errors up to and sometimes exceeding 20 % depending upon span, loading, and deflection at failure unless moment is computed in the rigorous manner outlined in Appendix X1 or corrections are made in other ways. These errors are not present in Method C.

¹ These methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D07 on Wood and are the direct responsibility of Subcommittee D07.03 on Panel Products. Current edition approved Apr. 10, 2000. Published July 2000. Originally published as D 3043 – 77. Last previous edition D 3043 – 95.

1.7 When comparisons are desired between results of specimen groups, it is good practice to use the same method of test for all specimens, thus eliminating possible differences relative to test method.

1.8 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards¹

- D 2395 Test Methods for Specific Gravity of Wood and Wood-Base Materials²
- D 4442 Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-Base Materials²
- D 4761 Test Method for Mechanical Properties of Lumber and Wood-Base Structural Material²

3. Significance and Use

3.1 These methods give the flexural properties, principally strength and stiffness, of structural panels. These properties are of primary importance in most structural uses of panels whether in construction for floors, wall sheathing, roof decking, concrete form, or various space plane structures; packaging and materials handling for containers, crates, or pallets; or structural components such as stress-skin panels.

3.2 To control or define other variables influencing flexure properties, moisture content and time to failure must be determined. Conditioning of test material at controlled atmospheres to control test moisture content and determination of specific gravity are recommended. Comparisons of results of plywood, veneer composites, and laminates with solid wood or other plywood constructions will be greatly assisted if the thickness of the individual plies is measured to permit computation of section properties.

4. Control of Moisture Content

4.1 Structural panel samples to be tested at a specific moisture content or relative humidity shall be conditioned to approximate constant mass in controlled atmospheric conditions before testing. For structural panels used under dry conditions, a relative humidity of $65 \pm 5\%$ at a temperature of $68 \pm 6^\circ\text{F}$ ($20 \pm 3^\circ\text{C}$) is recommended.

5. Method A—Center-Point Flexure Test

5.1 *Summary*—A conventional compression testing machine is used to apply and measure a load at mid-span of a small flexure specimen, and the resulting deflection at mid span is measured or recorded. The test proceeds at a constant rate of load motion until either sufficient deflection data in the elastic range have been gathered or until specimen failure occurs. The specimen is supported on reaction bearings which permit the specimen and bearing plate to roll freely over the reactions as the specimen deflects.

5.2 *Test Specimen*—The test specimen shall be rectangular in cross section. The depth of the specimen shall be equal to the thickness of material, and the width shall be 1 in. (25 mm) for depths less than 1/8 in. (6 mm) and 2 in. (50 mm) for greater depths (Note 1). When the principal direction of the face plies, laminations, strands, or wafers is parallel to the span, the length of the specimen (Note 2) shall be not less than 48 times the depth plus 2 in.; when the principal direction of the face plies, laminations, strands, or wafers is perpendicular to the span, the specimen length shall be not less than 24 times the depth plus 2 in. (Note 3).

Note 1—In certain specific instances, it may be necessary or desirable to test specimens having a width greater than 1 or 2 in. (25 or 50 mm). To eliminate plane action when wider specimens are tested, the specimen width shall not exceed one third of the span length and precaution shall be taken to ensure uniform bearing across the entire width of the specimen at the load and reaction points.

Note 2—In cutting specimens to meet the length requirement, it is not intended that the length be changed for small variations in thickness. Rather, it is intended that the nominal thickness of the material under test should be used for determining the specimen length.

5.2.1 *Measurements*—Measure specimen thickness at mid-span at two points near each edge and record the average. Measure to the nearest 0.001 in. (0.02 mm) or 0.3%. Measure width at mid-span to the nearest 0.3%.

5.2.1.1 When needed for interpretation of test results for plywood, veneer composites, and laminates measure thickness of each layer to the nearest 0.001 in. (0.02 mm) at mid-span at each edge and record the average.

5.3 *Span*—The span shall be at least 48 times the nominal depth when the principal direction of the face plies, laminations, strands, or wafers of the test specimen is parallel to the span and at least 24 times the nominal depth when the principal direction of the face plies, laminations, strands, or wafers is perpendicular to the span (Note 3).

Note 3—Establishment of a span-depth ratio is required to allow an accurate comparison of test values for materials of different thicknesses. It should be noted that the span is based on the nominal thickness of the material and it is not intended that the span be changed for small variations in thickness.

5.4 *End Supports*—Reaction points shall be capable of freely compensating for warp of the test specimen by turning laterally in a plane perpendicular to the specimen length so as to apply load uniformly across its width. Design of end supports shall place the center of rotation near the neutral axis of the specimen of average thickness. Construction is shown in detail in Fig. 4. Bearing points shall be rounded where they contact the specimen.

5.4.1 Use of bearing plates is generally recommended and is required wherever significant local deformation may occur.

5.4.2 Use of roller bearings or plates and rollers to preclude friction forces between end support and specimen is recommended in addition to the requirement of lateral compensation. Construction of a suitable end support using small roller bearings in conjunction with a plate which clips to the end of the specimen is illustrated in Fig. 2 and Fig. 3. The use of a large ball bearing to provide lateral compensation for warp is also illustrated. This method is particularly recommended for thin specimens and small loads.

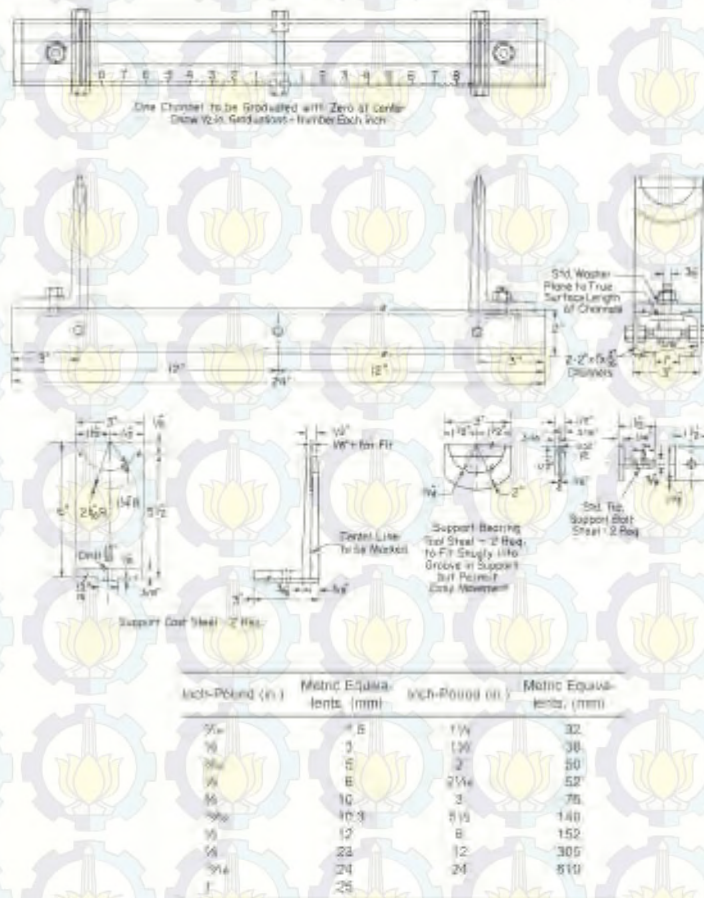


FIG. 1 Apparatus for Static Bending Test Showing Details of Laterally Adjustable Supports

3.4.3 As the specimen deflects during test, loads no longer act in the direction assumed in formulas for calculating properties. For a discussion of these errors, their effects, and methods for reducing them, refer to Appendix XI.

5.5 *Loading Block*—A loading block having a radius of curvature of approximately one and one-half times the depth of the test specimen for a chord length of not less than twice the depth of the specimen shall be used. In cases where excessive local deformation may occur, suitable bearing plates shall be used. Radius of curvature of bearing plate or block shall not be so large as to cause bridging as the specimen bends.

5.6 *Loading Procedure*—Apply the load with a continuous motion of the movable head throughout the test. The rate of load application shall be such that the maximum fiber strain

rate is equal to 0.0015 in./in. (mm/mm) per min within a permissible variation of $\pm 25\%$. Load shall be measured to an accuracy of $\pm 1\%$ of indicated value or 0.4 percent of full scale, whichever is larger. Calculate the rate of motion of the movable head as follows:

$$N = \frac{L^2}{4d} \quad (1)$$

where:

N = rate of motion of moving head, in./min (mm/min)

L = span, in. (mm),

d = depth of beam, in. (mm), and

$\dot{\epsilon}$ = unit rate of fiber strain, in./in.-min (mm/mm-min) of outer fiber length = 0.0015.

LARGE DIAMETER BALL BEARING COMPENSATES FOR WARPED SPECIMENS

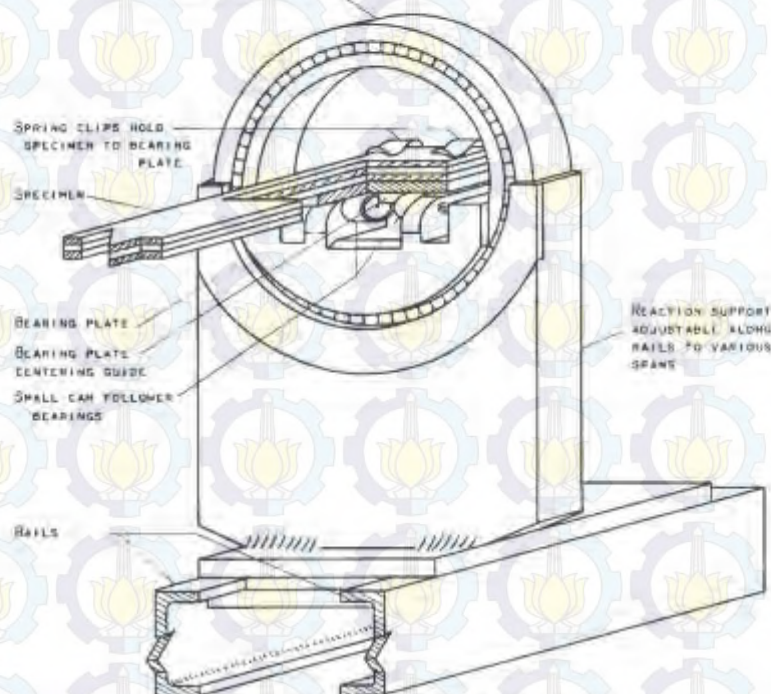


FIG. 2 Reaction Bearing for Small Flexure Test Specimens

5.6.1 Measure the elapsed time from initiation of loading to maximum load and record to the nearest 1/5 min.

5.7 *Measurement of Deflection*—Take data for load-deflection curves to determine the modulus of elasticity, proportional limit, work to proportional limit, work to maximum load, and total work. Take deflections by the methods indicated in Fig. 4 or Fig. 5, and take readings to the nearest 0.001 in. (0.02 mm). Choose increments of load so that not less than 12 and preferably 15 or more readings of load and deflection are taken to the proportional limit.

5.7.1 Deflections also may be measured with transducer-type gages and plotted simultaneously against load. In this case, record deflection to an accuracy of at least 1 1/2 % of deformation at proportional limit and the recorded trace below the proportional limit shall be at least 2 1/2 in. (64 mm) long or 1/3 of full scale measured on the deformation axis, whichever is larger. Similar requirements apply to the load axis.

5.8 *Calculations:*

5.8.1 Calculate specimen bending stiffness as follows:

$$EI = Q^2/DKSP\Delta \quad (2)$$

where:

EI = modulus of elasticity, psi (MPa) \times moment of inertia, in⁴ (or mm⁴),

P/Δ = slope of load-deflection curve, lb/in. (N/mm),

I = moment of inertia, in⁴ (mm⁴), and

L = span, in. (mm).

5.8.1.1 Moment of inertia used in the computations in 5.8.1 may be calculated in several different ways depending upon the requirements of the investigation. It may be based on the entire cross section, may include only the moment of inertia of layers parallel to span, or may include all layers weighted in accordance with modulus of elasticity in the direction of bending stress. State clearly the method employed in the report.

5.8.2 Calculate maximum moment (S_b) by the following equation:

$$S_b = Q/P\Delta \quad (3)$$



FIG. 3 Apparatus for Two-Point Loading and Measurement of Deflection (Method B)

where:
 $S_x J/c$ = maximum moment, lbf in. (N-mm),
 S_b = modulus of rupture, psi (MPa),
 P_b = maximum load, lbf (N), and
 c = distance from neutral axis to extreme fiber, in. (mm)

6. Method B—Two-Point Flexure Test

6.1 *Summary*—The ends of a two-point flexure specimen are supported on special reaction bearings which in turn rest on the table of a conventional testing machine. A pivoted loading device applies equal loads at points $1/2$ span from the reactions resulting from downward motion of the testing machine crosshead, and subjects the middle half of the specimen to conditions of nearly pure moment. Deflection of mid span relative to two points just inside the load points is measured with a dial gage or transducer thus giving deformation due to pure bending and unaffected by shear deformation.

6.2 *Test Specimen*—The test specimen shall be rectangular in cross section and its length shall exceed by 2 in. (50 mm) the span on which it is to be tested as determined in 6.3. Thickness shall be the thickness of the material. Width shall be 1 in. (25

mm) for material less than $1/8$ in. (6 mm) thick and 2 in. for material $1/8$ in. and over in thickness. The alternate width is 12 in. (300 mm).

6.2.1 *Measurements*—Measure specimen thickness at mid-span at two points near each edge and record the average. Measurements shall be to the nearest 0.001 in. (0.02 mm) or 0.3 %. Measure width at mid-span to the nearest 0.3 %.

6.2.1.1 When needed for interpretation of test results for plywood, veneer composites, and laminates, measure thickness of each layer to the nearest 0.001 in. (0.02 mm) at mid-span at each edge and record the average.

6.3 *Span*—Span-depth ratio has relatively little influence on the results of tests using two-point loading and the method of measuring deformation described for it in this standard. However, it is important that the distance between load point and adjacent support be sufficient to prevent rolling shear failures. The alternate 12-in. (300-mm) width will have a midlength (constant moment section) at least 12 in. in length.

6.3.1 Specimens tested for stiffness only shall have a span at least 48 times nominal thickness if the principal direction is parallel to span and 24 times nominal thickness if the principal direction is perpendicular to span.

6.3.2 It is recommended that two-point loading tests to failure be made on a span at least equal to the spacing between load points plus 48 times specimen thickness or 24 times specimen thickness for the principal direction parallel or perpendicular respectively. Material having high rolling shear strength or having all its plies, laminations, strands, or wafers parallel to span may use closer spacing between loads and supports.

6.4 *Supports*—Reaction supports shall meet the requirements of 5.4 and 5.4.1. Other comments as well as those of 5.4.2 and 5.4.3 apply.

6.5 *Loading*—Apply two equal loads to the specimen equidistant from the supports by cylindrical surfaces having a radius of curvature of at least $1/2$ times specimen thickness wherever it may contact the specimen. The axes of these surfaces shall remain parallel and at least one of them shall be free to turn about its axis or be loaded through rollers to prevent the application of friction forces to the surface of the specimen. Construction of a satisfactory loading head is illustrated in Fig. 6 and Fig. 3. Locate the pivot point that equalizes the two loads near the original neutral axis of the specimen.

6.5.1 Space load points sufficiently to provide a deflection which can be adequately measured. A spacing of at least 24 and 12 times specimen thickness is recommended for specimens with the principal direction parallel and perpendicular to span respectively.

6.5.2 Measure the sum of the two loads to an accuracy of at least 1 % of indicated value or 0.4 % of full scale, whichever is larger.

6.6 *Speed of Test*—Apply load at a continuous rate of motion of the load points with respect to the supports within a permissible range of 25 % of the rate determined as follows:

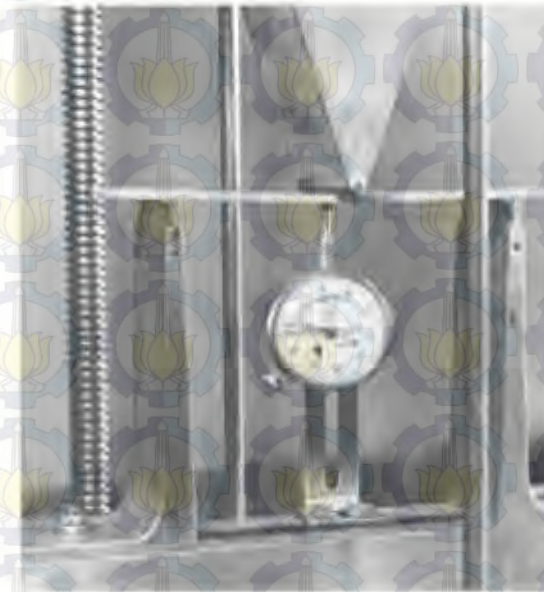


FIG. 4 Static Bending Test Showing Adjustable Supports and One Method of Attaching Dial Gage for Observing Deflection of Thin Material

$$N = (2\pi/3d)(ML - 4a) \quad (4)$$

where:

- N = rate of motion, in./min (mm/min),
- z = unit rate of fiber strain, in./in./min (mm/mm/min) = 0.0015,
- a = distance from support to adjacent load, in. (mm),
- d = depth of beam, in. (mm), and
- L = span, in. (mm).

6.6.1 Measure the elapsed time from initiation of loading to maximum load and record to the nearest 1/2 min.

6.7 *Measurement of Deflection*—Measure deflection of mid-span with respect to a line between two points equidistant from mid-span and just inside the two load points to an accuracy of at least 1 1/2 % of total deflection if tested for stiffness only, or 1/2 % of deflection at approximate proportional limit. All three points shall lie on the longitudinal axis of the specimen. Suitable equipment of the transducer type is illustrated in Fig. 6 and shown in Fig. 3. A dial gage could replace the transducer for manual reading. If individual gage readings are taken, at least 12 and preferably 15 or more load and deflection readings shall be taken below approximate proportional limit or for determining specimen stiffness.

6.8 *Calculations:*

6.8.1 Calculate the specimen bending stiffness as follows:

$$EI = (L - L_2)/32 [P''\Delta] \quad (5)$$

where:

- L_2 = span between load points, in. (mm)
- L_2 = span between deflection measurement points, in. (mm),
- $P''\Delta$ = slope of load deflection curve where deflection is mid-span relative to ends of span L_2 , in. (mm), and other notation is as given in 5.8.1. Remarks of 5.8.2 apply.

6.8.2 Calculate maximum moment of the specimen as follows:

$$S_x/c = P(L - L_0)/4 \quad (6)$$

where:

- P = maximum load, lbf (N);

7. Method C—Pure Moment Test

7.1 *Summary*—A specially designed testing machine applies pure moments to opposite ends of the test panel through loading frames. Frames are free to move toward or away from each other during the test to preclude application of other than pure moments to the center span of the panel. Between loading frames deflection of the neutral axis follows a circular arc. Rotational deformation between points near the ends of the arc is measured during the test by special sensing gages resting on pins projecting from the face of the panel at these points. The



FIG. 5 Static Bending Test Showing Roller Bearing at Supports and Special Yoke with Dial Gage for Measuring Deflection at the Neutral Axis

test is simple and flexible, and results are directly relatable to basic properties at large deformations.

7.2 Test Specimen—Specimens shall be of a size comparable to that of the material in use, frequently consisting of the entire panel. Limitation on size may be imposed by equipment size or moment capacity or size of available material. Except for effects of nonuniformity of properties within a panel, specimen dimensions do not tend to influence test results. When nonuniform material containing density variation, knots, knot-holes, sloping grain or other sources of large variability is tested for general construction and industrial use, a minimum specimen width of 24 in. (610 mm) is recommended and in no case shall width be less than 12 in. (300 mm).

7.2.1 Measurements—Measure panel thickness at four points, two on each edge one fourth of panel length from each end, to the nearest 0.001 in. (0.02 mm) and record the average. Measure width to the nearest 0.3 % at two points one fourth of panel length from each end and record the average.

7.2.1.1 When needed for interpretation of test results for plywood, veneer composites, and laminates measure thickness of each layer to the nearest 0.001 in. (0.02 mm) at the same points at which total panel thickness is measured.

7.3 Application and Measurement of Moments—Fig. 7 illustrates application of pure moments to a specimen by means of loading frames, and measurement of deformation. Apply equal and opposite pure moments to each end of the panel by frames. The frames shall be free to move toward or away from each other while under load to preclude application of direct tension or compression loads at large panel deformations.

Support axes of the loading frames to remain in a parallel relationship throughout the test (Note 4). Space bars of the loading frames sufficiently to prevent shear failures between points of load application. A bar spacing of 20 times panel thickness is suggested to preclude most, if not all, shear failures in the plane of the panel. In some cases closer spacing may be entirely satisfactory.

Note 4—These requirements dictate use of specialized equipment which may not be readily available. The principle of a commercially available flexure testing machine complying with these requirements is diagrammed in the figure below. Until further innovations are made in pure bending test equipment, use of cable and pulley equipment of this type, either purchased or constructed in the laboratory, offers the only practical means of implementing this method. This equipment is the subject of U.S. Patent No. 3 286 516.

7.3.1 Measure or record moment applied to either or both loading frames, either directly or in terms of a value related to moment, to an accuracy of ± 2 % of indicated value or 0.8 % of full-scale reading below 40 % of full-scale value (Note 5). Friction forces that tend to resist motion of the axes of the loading frames during a test may also cause significant errors. Therefore, when panels 4 ft in width are to be tested, the horizontal force applied to one loading frame that is required to produce motion of both frames without a panel in the machine should not exceed 5 lb (2.3 kg). Where a cable and pulley system is employed, the use of cables of the smallest possible size consistent with loads, and relatively large pulleys will help minimize friction forces.

Note 5—These limits are liberal in relation to conventional equipment

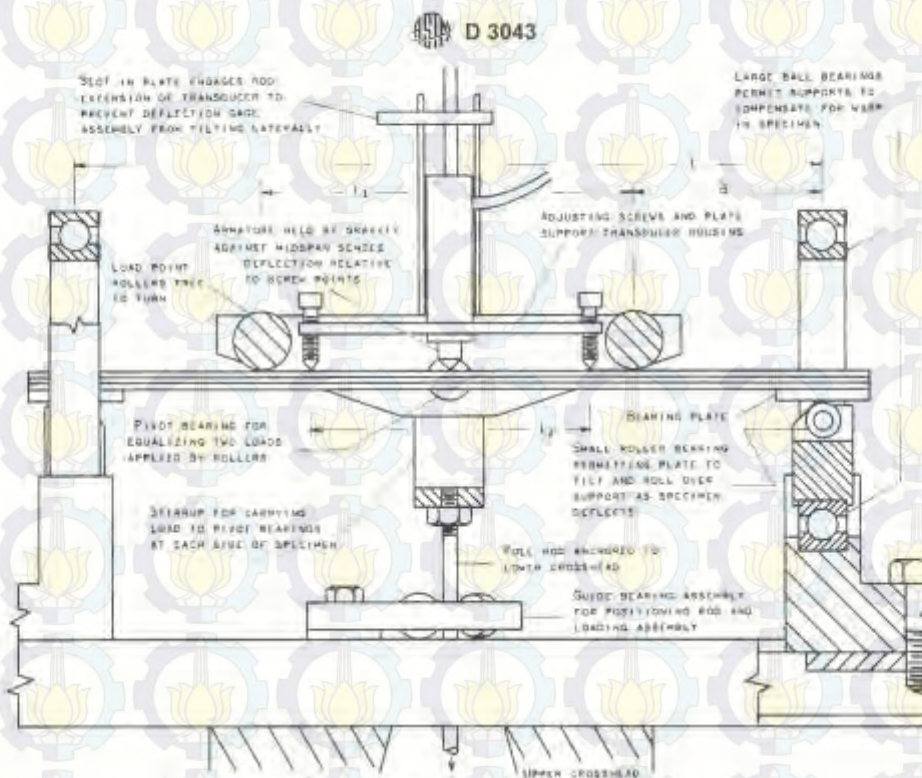


FIG. 6 Two-Point Load Test (Method B)

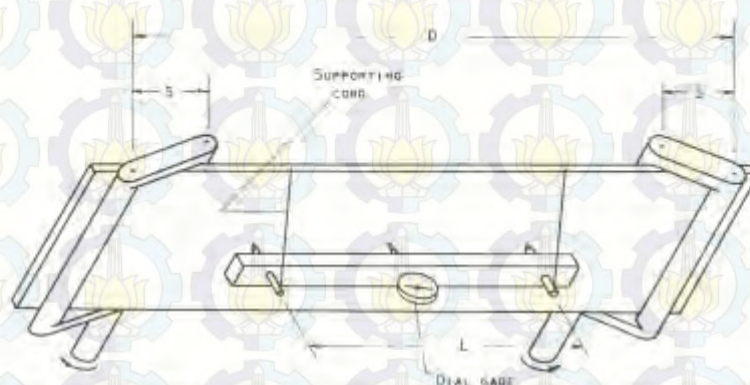


FIG. 7 Use of a Dial Gage to Measure Midordinate Deflection in a Pure Moment Bending Test (Method C)

in order to allow for laboratory fabrication and inexperience in the design of precision pure moment machines. Carefully controlled investigations may require specification or construction of more precise equipment.

7.4 *Speed of Testing*—Rotation of load frames with respect to each other shall take place at a constant rate throughout the test within $\pm 25\%$ of the rotation rate calculated as follows:

$$R = (2S/3d) (30 - 45) \quad (7)$$

where:

R = rotation speed between loading frames, rad/min ,
 S = load frame bar spacing between points of contact with panel, in. (mm) .

D = span between outer loading frame bars, in. (mm),
 d = panel thickness, in. (mm); and
 $\dot{\epsilon}$ = strain rate for outer fiber, in./in. min (mm/mm min).

For structural panels the rate of outer fiber strain, $\dot{\epsilon}$, shall be taken as 0.0015 in./in. min (mm/mm min).

7.4.1 Measure the elapsed time from initiation of loading to maximum load and record to the nearest $\frac{1}{2}$ min.

7.5 *Measurement of Panel Curvature*—Measure panel curvatures between two points on the longitudinal axis of the panel located between the inner loading bars and spaced as far apart as possible consistent with maintaining adequate clearances between gages and loading bars. Take curvature data to an accuracy of at least $1\frac{1}{2}\%$ of proportional limit values. If gages are read, take at least 12 and preferably 15 or more readings below the approximate proportional limit. If data are automatically recorded, magnifications shall be such as to produce pen motions of at least $2\frac{1}{2}$ in. (64 mm) or $\frac{1}{4}$ of full scale, whichever is larger on the axes below the proportional limit.

7.5.1 Where equipment permits changing ranges during test, recording a more highly magnified portion of the curvature data at low moments to produce full scale pen motion on at least one axis provides more accurate data for the computation of bending stiffness. The characteristically violent failures of large panels will normally dictate removal of delicate measuring instruments from the panel when sufficient data in the elastic range has been obtained.

7.5.2 Provision is made for two acceptable methods for obtaining curvature data. The midordinate deflection method employs readily available equipment to measure curvature. The angular rotation method uses special angular rotation

measuring instruments to determine rotational deformation of the portion of the panel subjected to pure bending.

7.5.3 *Measurement of Panel Curvature by Midordinate*—Apparatus to determine panel curvature measures panel midordinate or deflection relative to two points as shown in Fig. 7. Reading of the dial gage to the nearest 0.001 in. (0.02 mm) normally will give ample precision. An electronic transducer could be substituted for the dial gage for direct recording if system accuracy is adequate.

7.5.4 *Measurement of Panel Curvature by Angular Rotation*—Fig. 8 illustrates a suitable method of measuring angular rotations in conjunction with electronic indicating and recording equipment. One-eighth-inch (three-millimetre) pins project perpendicularly from the face of the panel held in a vertical position by the loading frames. These pins, threaded at one end and having a small rectangular flange, are attached to the panel either by screwing them into small holes in the face of the panel until the flange is drawn tightly against the face or by inserting the pin through a hole in the panel and drawing the flange tight by means of a nut on the opposite side of the panel. A reference rod approximately the same length as the spacing between pins is fitted at each end with an angular sensing device. Each gage housing is provided with small ball bearings which permit free movement of the angular sensing gage along the rod while holding it in fixed angular relationship to it. The input shaft of each rotation gage is fitted with a flange and small V-blocks which rest on the pins projecting from the panel at each gage point, thus transmitting the angular rotation of the panel to the gage and supporting the rotation gage-reference rod assembly.

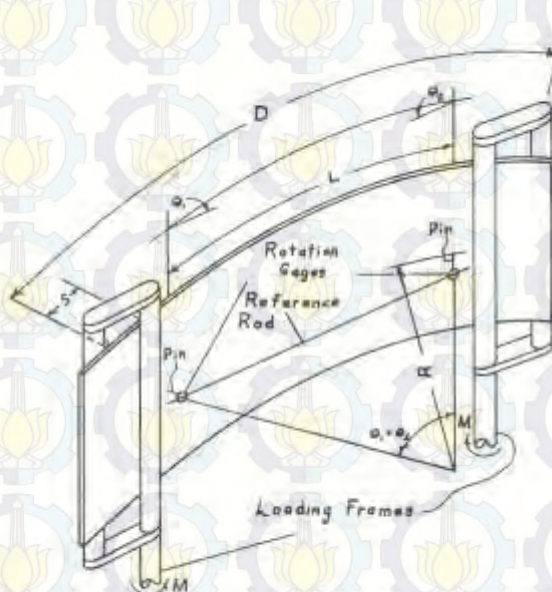


FIG. 8 Pure Bending Test Showing Angular Rotation Gages and Loading Frames

7.5.4.1 The rotation between the two gage points during test is the sum of the two rotations measured at each end of the reference rod. Use of linear differential transformers as transducers permits primaries and secondaries to be wired to produce a single signal proportional to their sum for indication or recording.

7.6. Calculations:

7.6.1 Calculate panel stiffness (EI), depending upon the method of curvature measurement, from test data in accordance with one of the following equations:

7.6.1.1 *Midordinate Method*—Determine panel bending stiffness, EI , from applied bending moment, M , and panel curvature, R , as follows:

$$EI = MR \quad (8)$$

where:

EI = panel bending stiffness, lbf-in.² (N-mm²),

M = bending moment, lbf-in. (N-mm), and

R = panel radius of curvature, in. (mm).

Calculate the radius of curvature by the method discussed in 7.5.3 as follows:

$$R = (L^2/8\Delta) + (\Delta/2) \quad (9)$$

where:

R = radius of curvature, in. (mm),

L = chord length for measuring midordinate or deflection, in. (mm), and

Δ = midordinate or deflection, in. (mm).

7.6.1.2 Angular Rotation Method:

$$EI = ML(\theta_1 + \theta_2) \quad (10)$$

where:

EI = panel bending stiffness, lbf-in.² (N-mm²) (see 5.8.2),

M = maximum moment, lbf-in. (N-mm) (see 5.8.1.1),

L = distance between gage points, in. (mm), and

$\theta_1 + \theta_2$ = total angular rotation between gage points.

7.6.2 Calculate as follows:

$$S_0/E = \text{maximum moment, lbf-in. (N-mm)} \quad (11)$$

8. Method D—Flexure Test for Quality Assurance

8.1 *Summary*—A conventional compression testing machine is used to apply and measure a load at mid-span of a small flexure specimen. Resulting deflection at mid-span is measured. The test proceeds at a constant rate of loading until either sufficient deflection readings are recorded or until failure occurs, depending upon purpose.

8.2 *Test Specimen*—The test specimen shall be rectangular in cross section. The depth of the specimen shall be the thickness of the panel. The width shall be at least 3 in. (76 mm) and not wider than 4.5 in. (114 mm). The length shall be 2 in. (51 mm) plus 24 times the thickness (see Note 6). The length, width and thickness shall be measured within an accuracy of 0.3 %.

Note 6—In cutting the specimen to meet the length requirements, it is not intended that the length be changed for small deviations in thickness. Rather it is intended that the nominal thickness be used for determining the specimen length and span.

8.3 *Span and Supports*—The span shall be 24 times the nominal thickness (depth) of the specimen (see Note 6). The supports shall be such that no appreciable crushing of the specimen will occur at these points during the test. The supports shall be rounded or shall be knife edges provided with rollers and plates under the specimen at these points. When rounded supports are used, the radius shall be at least 4.5 times the thickness of the material being tested. If the material under test deviates from a plane, laterally adjustable supports shall be provided (see Figs. 1 and 2).

8.4 *Center Loading Block*—The test shall use a loading block having a radius of not less than 1.5 times the specimen thickness for a chord length of at least twice the specimen thickness. The width of the loading block shall exceed the width of test specimens.

8.5 *Loading Procedure*—Apply the load continuously at a uniform rate. In accordance with Test Method D 4761, the test rate shall be such that the sample target failure load would be achieved in approximately 1 min (Note 7). The failure load should not be reached in less than 10 s nor more than 10 min (Note 8).

Note 7—A test rate to achieve the average failure load for the sample in approximately 1 min will differ from that to achieve a lower percentile load for the same sample in approximately 1 min.

Note 8—For oriented strand board, the following equation provides loading rates within these guidelines:

$$N = z^{1.5} \text{ in./min.} \quad (12)$$

where:

N = rate of motion, in./min. (mm/min),

z = span, in. (mm),

d = depth of beam, in. (mm), and

z = unit rate of fiber strain, in./in. (mm/mm) per minute of outer fiber length (0.0075).

Based on Eq. 12, the loading rate is:

For 3-in. panel 0.27 in./min (6.9 mm/min)

For 7-in. panel 0.31 in./min (7.9 mm/min)

For 1-in. panel 0.36 in./min (9.1 mm/min)

For 7-in. panel 0.45 in./min (11.4 mm/min)

For 3-in. panel 0.54 in./min (13.7 mm/min)

8.6 *Measurement of Deflection*—Take load and deflection data to determine the modulus of elasticity. Take deflection readings to the nearest 0.001 in. (0.025 mm). Choose increments of load so that not less than 12 readings and preferably more than 15 readings are taken prior to the proportional limit.

8.7 Calculations and Report:

8.7.1 Calculate bending stiffness as follows:

$$EI = (L^3/48)(P/\Delta) \quad (13)$$

where:

EI = stiffness (modulus of elasticity, psi (MPa) times moment of inertia, in.⁴ (mm⁴)),

L = span, in. (mm), and

P/Δ = slope of load-deflection curve, lbf/in. (N/mm).

8.7.1.1 Moment of inertia may be calculated in several different ways depending upon the purpose of the test. It may be based on the entire cross-section, only the layers parallel to the span or may include all layers weighted in proportion to the

modulus of elasticity in the direction parallel to span. State clearly the method employed in the report if modulus of elasticity is included.

8.7.2 Calculate the maximum moment by the following equation:

$$S_b/c = PL/4 \quad (14)$$

where:

- S_b/c = maximum moment, lbf-in. (N-mm),
- S_w = modulus of rupture, psi (Mpa),
- P = maximum load, lbf (N), and
- c = distance from neutral axis to extreme fiber, in. (mm).

9. Variables Influencing Flexure

9.1 *Moisture Content*—Cut a moisture content sample having minimum area of 2 in.² (13 cm²) from the clear areas of the panel and weigh immediately after each test. Moisture content samples from large specimens of Method C shall have minimum area of 8 in.² (52 cm²). If inspection of the edges of panels containing veneer reveals the presence of a knot in any of the inner plies, select a second specimen. Moisture content specimens also serving as specific gravity specimens shall be free of density variations and inner ply voids such as knotholes or edge gaps between veneers. Moisture content determinations shall be made in accordance with Test Methods D 4442.

9.2 *Specific Gravity*—Specific gravity determinations shall be made in accordance with Test Methods D 2395. The specimen may be the same as that for moisture content determination but must have volume of at least 1 in.³ (16 cm³) if from small specimens and at least 3 in.³ (49 cm³) if from large specimens. Specimens with veneer shall be free of visible knots or voids.

10. Report

10.1 Each specimen shall be described as to size, species, construction, and adhesive type used in its manufacture, and principal direction of the plies, laminations, strands, or wafers with respect to specimen length.

10.2 Data for individual specimens and where applicable specimen averages shall include:

- 10.2.1 Thickness,
- 10.2.2 Specific gravity,
- 10.2.3 Moisture content,
- 10.2.4 Elapsed time to failure,
- 10.2.5 Bending stiffness,
- 10.2.6 Maximum moment,
- 10.2.7 Load-deflection diagrams, and
- 10.2.8 Description of failure.

10.3 It may also be desirable to include additional data that may influence results such as modulus of elasticity, modulus of rupture, section modulus, moment of inertia, thickness of individual plies or laminations, maximum load or moment, and natural and manufacturing features present relating to panel grade or thought to influence test results.

10.4 The method of calculating moment of inertia and section modulus shall be clearly stated. A description of the test method shall include equipment used to apply loads or moments to the panel, their points of application, deformation measuring equipment, and geometry of deformation measured.

11. Precision

11.1 The precision of these methods has not yet been determined, but when data are available precision statements will be included.

12. Keywords

12.1 flexural properties; panel; structural panels

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

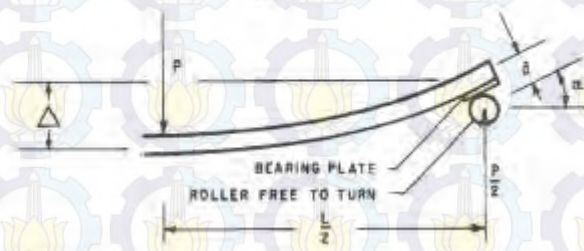
X1. CALCULATION OF TRUE MOMENT IN CENTER-POINT AND TWO-POINT LOAD TESTS

X1.1 The equation for calculation of true bending moment is given in Fig. X1.1 for the center-point test and in Fig. X1.2 for the two-point test. The errors incurred by using nominal moment instead of true moment for the computation of modulus of rupture (equations in this standard use nominal moment) depend upon the geometry of the specimen and loading at failure.

X1.2 In the case of the two-point test, measurement of the

additional tangent angles and deflections during the test to permit calculation of true moment multiplies the task of running the test and reducing the data by an order of magnitude. An approach that reduces the errors, possibly to acceptable limits for many purposes, is to develop a correction to be applied to nominal moment which varies with mid-span deflection.

ASTM D 3043



When deflection is measured relative to reactions:

$$M = (PL/4) + [\Delta - (PL/2)\alpha] \sin \alpha$$

Where:

M = moment at mid-span, lb. ft.

P = load, lb.

L = span, in.

a = distance from center of reaction purl to neutral axis of specimen, in.

α = slope of specimen at reaction, and

Δ = deflection at mid-span relative to reactions, in.

When deflection is measured relative to two points on the neutral axis of the panel:

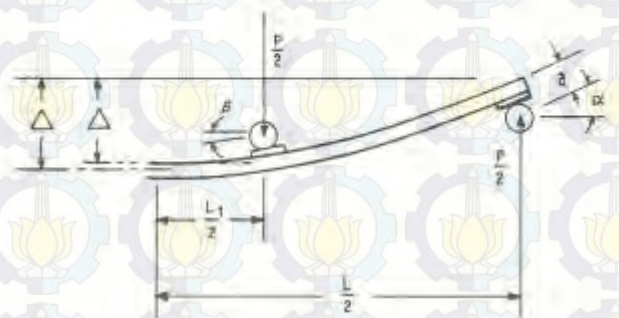
$$M = (PL/4) + (P/2)\Delta \sin \alpha - (PL/2)\alpha \sin \alpha$$

Where:

Δ = deflection of mid-span relative to points on the neutral axis of the panel at the reactions; other notation is as given above.

FIG. X1.1 True Moment Calculation in Center-Point Load Test

D 3043



When deflection is measured relative to reactions

$$M = (PL/4) + (\Delta - \alpha(P/2)) \sin \alpha = (PL/4) + (\Delta - \Delta_1 + \alpha(P/2)) \sin \beta$$

Where:

- M = moment between load points, in. lb.
- P = total load, lb.
- L₁ = reaction span, in.
- L₂ = load point span, in.
- Δ = mid-span deflection relative to reactions, in.
- Δ₁ = load point deflection relative to reactions, in.
- α = distance from center of reaction pivot to neutral axis of specimen, in.
- β = slope at reaction, and
- β = slope at load point.

When deflection is measured relative to two points on the neutral axis of the panel:

$$M = (PL/4) + (P\Delta/2) \tan \alpha = [(P/2)(\Delta - \Delta_1) \tan \beta + (P/2)(\sin \alpha + \sin \beta)]$$

Where:

- Δ = deflection at mid-span relative to points on the neutral axis of the panel at the reactions, and
- Δ₁ = load point deflection relative to points on the neutral axis of the panel at the reactions, and other notation is as given above.

FIG. X1.2 True Moment Calculation in Two-Point Load Test

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and, if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19380-2900, United States. Individual copies (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-632-9885 (phone), 610-632-9885 (fax), or service@astm.org (e-mail), or through the ASTM website (www.astm.org).

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, Muchtar. (2008). Kenyamanan Lingkungan Kerja di Kapal Perikanan. *Jurnal Ilmu Lingkungan Universitas Riau*, hal. 1-11.
- Amazine: Online Popular Knowledge. (2014). *Ketahui Kualitas Bahan Bakar Diesel dengan Angka Cetane*. Diakses tanggal 23 Desember 2014, dari website: <http://amazine.co/>
- Agro Indonesia. (2012). *Menhut Panen Jati Umur Lima Tahun*. Diakses tanggal 27 Februari 2014, dari website: <http://agroindonesia.co.id/>
- ASTM D-3500. (2004). *Standard Test Methods for Structural Panel in Tension*. New York: American Society for Testing and Materials (ASTM).
- ASTM D-3043. (2004). *Standard Test Methods for Structural Panel in Flexure*. New York: American Society for Testing and Materials (ASTM).
- BKI. (2013). *Rules for Small Vessel up to 24 m*. Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia (BKI).
- Budi, Agus Setiya. (2007). Pengaruh Dimensi Bilah terhadap Keruntuhan Lentur Balok Laminasi Bambu Peting. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Negeri Sebelas Maret*, hal. 85-92.
- Carli dan Widyanto, S.A. (2012). Analisis Kekuatan Tarik dan Lentur Komposit Serat Gelas Jenis *Woven* dengan Matriks *Epoxy* dan *Polyester* Berlapis Simetri dengan Metoda Manufaktur *Hand Lay-Up*. *Jurnal Teknis Politeknik Negeri Semarang, Vol. 7, No. 1*, hal. 22-26.
- Departemen Kehutanan Republik Indonesia (DepHut). (2003). *Peta Penyebaran Potensi Tanaman Kehutanan dan Tanaman Perkebunan*. Diakses tanggal 22 Februari 2014, dari website: <http://dephut.go.id/>
- Desain Rumah Unik: Desain Rumah Idaman. (2014). *Design Rumah Bambu*. Diakses tanggal 23 Desember 2014, dari website: <http://desainrumahunik.info/>
- Dinas Perikanan dan Kelautan Republik Indonesia (DKP RI). Petunjuk Pelaksana. *Identifikasi dan Pengukuran Kapal Perikanan*. Jakarta.
- Dinas Perikanan dan Kelautan (DKP) Provinsi Jambi. (2011). Spesifikasi Teknis. *Kapal Ikan 30 GT – FRP*. Jambi.
- Dunkelberg, Klaus. (1992). "Bamboo as a Building Material", *Design with Bamboo Seminar*, pp. 1-15. Aachen, Jerman.
- Fahmi, Arif. (2011). Tugas Akhir. *Pengaruh Temperatur Pemanasan terhadap Sifat Mekanis Bambu Petung (Dendrocalamus asper) dan Bambu Ori (Bambusa*

- arundinacea*). Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Teknik Material dan Metalurgi.
- Firmansyah, Astuti. (2013). Sintesis dan Karakterisasi Sifat Mekanik Bahan Nanokomposit Epoxy-Titanium Dioksida. *Jurnal Fisika Universitas Andalas*, Vol. 2, No. 2, hal. 72-80.
- Handayani, Sri. (2007). Pengujian Sifat Mekanis Bambu (Metode Pengawetan dengan Boraks. *Jurnal Teknik Sipil & Perencanaan Universitas Negeri Semarang*, Vol. 9, No. 1, hal. 43-53.
- Hess, Michael. (2007). *Dynamic-Mechanical Properties of Polymers*. Denton, Texas, USA: University of North Texas, Department of Materials Science.
- Kelly. (2007). Examples and Applications of Viscoelastic Materials. *Solid Mechanics Part I* (pp. 285-287).
- Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia (KKP). (2013). *Statistik Volume Produksi Perikanan Laut Indonesia Tahun 2004-2012*. Diakses tanggal 27 Februari 2014, dari website: <http://statistik.kkp.go.id/>
- Knauss, W.G. (1973). The Mechanics of Polymer: Viscosity. *The Mechanics of Polymer Fracture*, pp. 2.
- Krisdianto dan Sumarni, Ginuk. (2006). Sari Hasil Penelitian Bambu Departemen Kehutanan. Jakarta: Departemen Kehutanan Republik Indonesia.
- MAN Diesel SE. (2008). Katalog. *Quality Requirements of Operating Supplies*. Augsburg, Germany.
- Manuputty, Monalisa dan Berhitsu, Pieter Th. (2010). Pemanfaatan Material Bambu Sebagai Alternatif Bahan Komposit Pembuatan Kulit Kapal Pengganti Material Kayu Untuk Armada Kapal Rakyat Yang Beroperasi Di Daerah Maluku. *Jurnal TEKNOLOGI*, Vol. 7, No. 2, hal. 788-794.
- Marsyahyo, E. dan S.B. Roharjo, Heri. (2005). "Penelitian Awal Pengaruh Lama *Post Curing* Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan Mikro Skala *Vickers* Paduan Polimer Epoxy *Dgeba* dan *Hardener Diamine*", *Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) Periode IV*, hal. 7-12.
- Nita, Irina and Geacai, Sibel. (2011). Study Of Density and Viscosity Variation with Temperature for Fuels Used for Diesel Engine. *Journal of Department of Chemical Engineering and Technology of Ovidius University*, pp. 57-61.
- Nugroho, Nur Kotib Cahyo dan Darmono. (2010). Efektivitas Pengawetan Kayu terhadap Serangan Rayap Menggunakan Campuran Boraks dengan Asam Borat. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Negeri Yogyakarta*.

- Okhio, Cyril and Waning, Jeroen. (2011). An Experimental Investigation of the Mechanical Properties of Bamboo and Cane. *Journal of Selected Areas in Bioengineering*, pp. 8-15.
- Oka, Gusti Made. (2008). Analisis Arah Laminasi Vertikal dan Horisontal terhadap Perilaku Lentur Balok Bambu Laminasi. *Jurnal SMARTEK*, Vol. 6, No. 2, hal. 94-103.
- Oroh, Jonathan. (2013). Tugas Akhir. *Analisis Sifat Mekanik Material Komposit Dari Serat Sabut Kelapa*. Manado: Universitas Sam Ratulangi, Teknik Mesin.
- Pertamina Lubricants. (2013). Guide. *Meditran S SAE 10W, 30, 40, 50*. Jakarta.
- Porwanto, Daniel Andri. (2007). Tugas Akhir. *Karakterisasi Komposit Berpenguat Serat Bambu dan Serat Gelas Sebagai Alternatif Bahan Baku Industri*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Teknik Fisika.
- Prabowo, Andika dan Supomo, Heri. (2013). Analisis Teknis dan Ekonomis Ketebalan Bilah Laminasi Bambu Sebagai Material Lambung Kapal. *Jurnal Teknik POMITS*, Vol. 2, No.1, hal. 1-4.
- Purwito. (2008). “Standarisasi Bambu Sebagai Bahan Bangunan Alternatif Pengganti Kayu”, *Prosiding PPI Standarisasi 2009*, hal 1.-17.
- Society of Automotive Engineers (SAE). (1999). *Understanding the SAE Motor Oil Viscosity Standard*. United States: SAE Publishing.
- Sorbothane Inc. (2013). Data Sheet. *Shock and Vibration Frequently Asked Questions*. Kent Ohio, USA.
- Sorbothane. (1986). *The Difference between Elastic Materials and Viscoelastic Materials*. Diakses pada tanggal 18 Januari 2015, dari website: <http://www.sorbothane.com/>
- Suprijanto, Iwan dan Kusmawan, Dedi. (2009). “Standarisasi Bambu Laminasi Sebagai Alternatif Pengganti Kayu Konstruksi”, *Prosiding PPI Standarisasi 2009*, hal 1-21.
- Susilaning, Lies dan Suheryanto, Dwi. (2012). “Pengaruh Waktu Perendaman Bambu dan Penggunaan Borak-borik terhadap Tingkat Keawetan Bambu”, *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST) Periode III*, hal. 94-101.
- Tarkono. (2006). Kajian Teknologi Produksi Material Laminasi Bambu-Kayu Berbentuk Balok Sebagai Bahan Alternatif Bangunan Kapal Kayu. *Jurnal Desain & Konstruksi*, Vol. 5, No. 1, hal. 36-46.
- Vengala J., Jagadeesh H.N., and Pandey C.N. (2008). “Development of bamboo structure in India”. Y. Xiao, M. Inoue, and S.K. Paudel (Eds.), *Proceedings of First International Conference on Modern Bamboo Structures 2007*, (pp. 51). Changsha, China.

- Verma, C.S. and Purohit, R. (2012). Tensile Strength Analysis of Bamboo and Layered Laminate Bamboo Composites. *International Journal of Engineered Research and Applications (IJERA)*, Vol. 2, No. 2, pp. 1253-1264.
- Verma, C.S. and Chariar, V.M. (2012). Development of Layered Laminate Bamboo Composite and their Mechanical Properties. *Elsevier Journal for Composite, Part B*, No. 43, pp. 1063-1069.
- Widnyana, K. (2007). Bambu dengan Berbagai Manfaatnya. *Jurnal Fakultas Pertanian Universitas Mahasaraswati Denpasar*.
- World Wide Fund for Nature (WWF). (2010). *Upaya Konservasi Hutan di Indonesia*. Diakses pada tanggal 26 Februari 2014, dari website: <http://www.wwf.or.id/>
- Xiao Y., Shan B., Chen G., Zhou Q., and She L.Y. (2008). “Development of a New Type Glulam-GluBam”. Y. Xiao, M. Inoue, and S.K. Paudel (Eds.), *Proceedings of First International Conference on Modern Bamboo Structures 2007*, (pp. 42). Changsha, China.